

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ А.І. Жученко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2019 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: Автоматизація процесу виробництва білої сажі

Виконав студент 4 курсу, групи ЛА-51

_____ Осіпенко Владислав Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник _____ Бородін Валерій Іванович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант Охорона праці _____ к. т. н., доцент Ковтун І.М.

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

Додаток Д.2. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість листів	Примітка	
1	A4				Завдання на дипломний проект	2		
2	A4	ДП 5117. 00.000 ПЗ			Пояснювальна записка	72		
3	A4	ДП 5117. 00.000.Сп			Д.1. Специфікація устаткування, виробів, матеріалів	12		
4	A4	ДП 5117. 00.000.00			Д.2. Відомість дипломного проекту	1		
5	A1	ДП 5117. 01.000 СхАвт			Схема автоматизації функціональна	1		
6	A2	ДП 5117. 02.000 СхЕ			Принципова електрична схема дистанційного керування електродвигунами_____	1		
	</							

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Автоматизація процесу виробництва білої сажі

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Інженерно-хімічний факультет
(повна назва)

Кафедра Автоматизації хімічних виробництв
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.І. Жученко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Осіпенко Владиславу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизація процесу виробництва білої сажі,
керівник проекту Бородін Валерій Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» травня 2019 р. № 1525

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту система керування, що забезпечує задані часові показники якості процесу керування

4. Зміст пояснювальної записки

Аналіз процесу виробництва білої сажі; розробка схеми автоматизації процесу; математичне моделювання розпилювача сушарки; синтез та дослідження системи керування розпилювача сушарки; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема автоматизації процесу виробництва білої сажі, принципова електрична схема дистанційного керування електричних двигунів.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І.М., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз процесу виробництва білої сажі	2.04.2019	
2	Розробка схеми автоматизації	09.04.2019	
3	Отримання математичної моделі розпилювача сушарки	19.04.2019	
4	Дослідження статичного і динамічного режимів об'єкта керування	20.04.2019	
5	Синтез системи керування	06.05.2019	
6	Розробка креслень	19.05.2019	
7	Охорона праці	04.06.2019	

Студент

(підпис)

Осіпенко В.С.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Бородін В.І.
(ініціали, прізвище)

Реферат

Дипломний проект бакалавра на тему: «Автоматизація процесу виробництва білої сажі» містить пояснювальну записку об'ємом 84 сторінок зі специфікацією до схеми автоматизації об'ємом 12 сторінок, 2 листа креслень форматом А1.

Пояснювальна записка містить 5 розділів, 1 додатка та 10 літературних джерел.

В дипломному проекті бакалавра виконаний аналіз технологічної схеми процесу виробництва білої сажі, як об'єкта автоматизації. Розроблено схему автоматизації для цього ж процесу та принципово-електричну схему дистанційного керування, аварійного захисту і технологічних блокувань.

В роботі розглянуто особливості роботи розпилювача сушарки, як об'єкта керування. Для цього ж апарату розроблена математична модель та побудовані перехідні характеристики за каналами керування та збурення.

Апарат розпилювача сушарки було синтезовано з різними регуляторами, після чого була проведена порівняльна характеристика даних систем.

Основні результати роботи можуть бути використані для попередньої оцінки параметрів налаштування реальних систем керування.

Ключові слова: біла сажі, розпилювач сушарки, сушарка, керування, регулятор, автоматизація, математична модель.

Abstract

Bachelor's diploma work on the topic: "Automation of the white soot manufacture process" includes an explanatory note, which contains 84 pages, including specification to the function scheme, which consists of 12 pages, 2 pages of drawings of A1 format.

The explanatory note contains 5 sections, 1 appendix and 10 literary sources.

The analysis of the function scheme of the white soot manufacture as an automation object is carried out in a bachelor's diploma project. The automation function scheme is developed for this process and principally electric circuit with a remote control, emergency protection and process interlocks.

The peculiarities of the spray dryer operation, as a control object, are considered in the work. There was developed mathematical model and transient responses for this device also.

The spray dryer machine was synthesized with several controllers, whereupon was made the comparative characteristic of those control systems.

The main results of the work can be used for a prior estimate of instrument settings of the real control systems.

Key words: white soot , kerosene , spray dryer, dryer, control, controller, automation, mathematical model.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ПЕРЕДПРОЕКТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ	9
1.1. Фізико-хімічні властивості білої сажі.....	9
1.2. Опис схеми виробництва білої сажі.....	15
1.3. Властивості розпилювача сушарки	19
2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	22
2.1. Параметри контролю виробництва	22
2.2. Розробка схеми автоматизації	27
3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗПИЛЮВАЧА СУШАРКИ	33
3.1. Структурно-параметрична схема розпилювача сушарки	33
3.2. Вплив вхідних параметрів та збурень на вихідні параметри об'єкту керування	34
3.3. Математична модель технологічного об'єкту	34
3.4. Рівняння теплових і матеріальних балансів	38
3.5. Лінеаризація рівнянь.....	39
3.6. Рівняння в канонічній формі і в формі Коші	40
3.7. Перетворення за Лапласом змінної часу	44
3.8. Передатні функції за каналом керування та збурення	46
3.9. Перехідні характеристики об'єкта	46

					ДП 5117.00.000.Сп			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис		Автоматизація процесу виробництва білої сажі	Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб		Осіпенко В.О.						
Перев		Бородін В.І.					6	84
Реценз						НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", ІХФ, ЛА-51		
Н.Контр.								
Затв.		Бородін В.І.						

4. СИНТЕЗ КЕРУВАННЯ СУШАРКОЮ	48
4.1.Синтез системи з П-регулятором	49
4.2.Синтез системи з ПІ-регулятором.....	52
4.3.Синтез системи з ПІД-регулятором	55
4.4.Порівняння синтезованих систем автоматичного управління.....	58
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	63
5.1.Електробезпека.....	64
5.2.Виробниче освітлення	67
5.3.Шум і вібрація	68
5.4.Повітря робочої зони	69
ВИСНОВОК.....	71
СПИСОК ПОСИЛАНЬ НА ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА	72

ВСТУП

Біла сажа наразі є важливим компонентом для вироблення продукції у різних галузях державної індустрії. Перш за все, біла сажа використовується у якості наповнювача для різноманітних видів резин, в тому числі шин, що повсюдно використовуються власниками автотранспорту.

У зв'язку з цим був розроблений даний дипломний проект на тему «Автоматизація процесу виробництва білої сажі».

Беручи до уваги, весь потенційний спектр використання білої сажі, можна ствердити, що автоматизація процесу виробництва даної продукції є на сьогодні актуальною темою.

Сучасне виробництво білої сажі складається з низки технологічних етапів: осадження силікату кальцію, осадження білої сажі, фільтрування білої сажі у вакуум-фільтрах, її фільтрування, збирання і очищення промивних вод та осушення білої сажі до потрібного рівня вологості.

Етап осушення сировини є найбільш складний та відповідальним процесом у всьому виробництві. Розпилювач сушарки потребує найбільше електроенергії, тому для економії та покращення показників ефективності, необхідно оптимізувати цей процес осушення. Оскільки сушка триває лічені секунди, то безумовно необхідна автоматизація даного процесу та виробництва в цілому, адже ручна праця людини не в змозі забезпечити ефективного результату виробництва.

В даному дипломному проекті була розроблена схема автоматизації процесу виробництва білої сажі. До схеми додана специфікація, в якій зібрані нові сучасні прилади, вимірювачі, датчики, клапани тощо, що відповідають сучасним стандартам і забезпечують більшу точність і, в результаті, економічність. Також для більш ефективного використання розпилювача сушарки, була обрахована її математична модель.

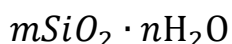
					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ПЕРЕДПРОЕКТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

1.1. Фізико-хімічні властивості білої сажі

Білою сажею називається речовина, що отримується шляхом осадження діоксиду кремнію сірчаною кислотою з розчином силікату натрію (або як ще називають, рідке скло) з подальшою фільтрацією, промивкою та просушкою.

Хімічною формулою білої сажі є [1]:



Біла сажа, насамперед, виступає в ролі наповнювача для полімерних композитних матеріалів, котрі є продуктами синтезу білої сажі та органічних модифікаторів - полімерним воском та інші [2].

Від способу одержання та обробки білої сажі залежить частка вмісту зв'язаної води. Вона може бути або більшою, або меншою. Також трансформується форма зв'язку води з SiO_2 - від міцної хімічної до слабкої адсорбційної.

Білу сажу можна отримати різними методами. Два основних – це газофазний та рідкофазний методи. Розглянемо їх більш детально.

Рідкофазний метод полягає в тому, що відбувається осадження аморфної кремнієвої кислоти кислими реагентами (наприклад, соляною кислотою, вуглецевою кислотою тощо) з розчину силікату натрію за температури 70 – 90 °C при відсутності солей та металів II чи III груп. Отриманий продукт відфільтровують, промивають та просушують. Зважаючи на умови осадження та природу коагулянтів отримана біла сажа є нейтральною, кислою чи лужною. Сухий продукт розмелюють.

Якість пористості чи дисперсності частинок (порошку) білої сажі залежить від коагулянту та природи агенту розкладення (речовини, що розкладає силікат), умов осадження, фільтрації та просушування. Під час етапу фільтрації чи просушування існує можливість агрегування частинок,

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тобто їх об'єднання у більш великі частинки, внаслідок подальшої конденсації полікремнієвих кислот. Через це умови фільтрації та осушення вимагають обов'язкового дотримання регламенту.

Газофазовий метод отримання білої сажі полягає у гідролізі чотирьоххлористого чи чотирьохфтористого кремнію водяним паром (а саме гримучим газом) за температури 1000 – 1100 °С.

В результаті отримується малогідратований продукт з високою дисперсністю при незначній пористості.

Різновидом газофазового методу є аерогельний спосіб, що являє собою гідроліз чотирьоххлористого кремнію парами води за невисокої температури.

Продукція, що виготовлена аеросиловим методом, називається пірогенним (коллоїдним) діоксидом кремнію або аеросил.

Пірогенний діоксид кремнію – це якісний наповнювач для каучуків (особливо каучукових). Окрім того, його застосовують для виготовлення різних змазок, фарб та лаків, а також для стабілізації суспензій. Його згущуючу здатність використовують для отримання гелей для мозкових основ. Адсорбційні властивості коллоїдного діоксиду кремнію використовують для стабілізації сухих екстрактів (тобто, коли зменшується їх гігроскопічність). В порошках застосовують при виготовленні гігроскопічних сумішей і як диспергатор. У фармацевтичній промисловості використовується у якості антифрикційної (опудрюючої) речовини. Також застосовується у складі електrolітів, як біла сажа.

Аеросил застосовують у промисловості для виготовлення шпаклівок, каучуків, фарб, лаків, змазок, герметиків, гелів (у тому числі в медицині), термоізоляційних матеріалів, штучної шкіри тощо.

В СРСР продукт виготовлявся на підприємстві «Хлорвініл» у місті Калуш Івано-Франківської області. Наразі, аеросил продовжує вироблятися там само, але під іншою торговою маркою - «Орисил» на однойменному підприємстві. Інший виробник пірогенного діоксиду кремнію, а також

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модифікованих марок на території колишнього Радянського Союзу – ДП “Калуський дослідно-експериментальний завод Інституту хімії поверхні Національної Академії Наук України”.

Окрім цих основних рідко- та газофазових методів отримання білої сажі існує спосіб отримання так званих силікатних і силікатно-масляних каучуків. Отримання відбувається шляхом холодного осадження діоксиду кремнію за коагуляції даного каучука.

У резинах, що вироблені на основі силоксанових каучуків, додавання білої сажі поліпшує механічні характеристики, збільшує стійкість до наднормового тепла та вогню. Виготовлені на основі бутадієннітрильних, хлорпренових і фторкаучуків резини, складова білої сажі за посилюючими властивостями рівноцінна вуглецевій, перевершує її вплив на маслостійкість і теплостійкість, а також дає більший опір ковзання.

Білу сажу додають спільно з вуглецевою сажею в протекторні резини шин, що працюють в ускладнених умовах. Введення невеликої кількості білої сажі підвищує стійкість до зношення протектора - захисного малюнку шини, збільшує опір складових його контуру сколювання.

В залежності від призначення білої сажі та її показників якості, відповідно до радянського ДЕСТу 18307-78, вона поділяється на наступні різновиди [4]:

- БС - 30,
- БС - 50,
- БС - 100,
- БС - 120,
- У - 333.

Наразі, біла сажа БС-30 знята з виробництва.

Сажі марки БС використовуються в якості посилюючого наповнювача для полімерних і синтетичних матеріалів у шинній, резинотехнічній, хімічній, легкій та інших галузях промисловості.

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наприклад, біла сажа марки БС-50, що отримується з сировини, що в своєму вмісті має не більше 2% фторидів, призначена для виробництва резинового взуття, резинових медичних виробів і хімічних засобів захисту рослин.

Біла сажа марки У-333 застосовується в якості посилюючого наповнювача у виробництві спеціальних резин в резинотехнічній промисловості [5].

Середній розмір частинок білої сажі БС-30 складає 60-109 нм, для БС-50 – 50-76 нм, для БС-100 – 23-35 нм, для БС-120 дорівнює 19-26 нм.

Державний стандарт має низку вимог до фізико-хімічних властивостей виробленої білої сажі. Наведемо основні норми в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Технічні характеристики різних видів сажі

Назва показника	БС-50	БС-100	БС-120	У-333
Зовнішній вигляд	Порошок і неміцні грудочки білого кольору		Порошок і неміцні грудочки або гранули білого кольору	
Масова частка діоксиду кремнію, %	76	86	86	88
Масова частка вологи, %	6,0	6,5	6,5	6,5
рН водяної витяжки	9,0 – 10,0	5,0 – 7,0	3,5 – 7,0	7,0 – 8,5
Насипна щільність, г/дм ³ , Для неущільненої	150 – 200	–	120 – 170	120 – 180
Для ущільненої	200 – 230	150 – 220	171 – 230	180 – 200
Масова частка залишку на ситі з сіткою 014Л, %	0,15	0,1	0,02	0,3

До виробленої білої сажі застосовуються нежорсткі правила пакування, зберігання чи перевезення.

Оскільки готова продукція має сипучу форму, то її зазвичай упаковують в чотирьохшарові комбіновані чи ламіновані мішки. Маса мішка з сажею не повинна перевищувати двадцяти кілограм.

Транспортування дозволяється будь-яким видом транспорту відповідно до правил транспортування вантажів, що діють на цьому транспортному засобі.

Залізничними шляхами дозволяється транспортування в закритих вагонах при великих партіях, або в універсальних вантажних контейнерах чи в спеціальних пакетах при невеликих партіях. Маса пакета чи контейнера – до 500 та до 400 кг відповідно.

Рекомендована зона зберігання готової продукції білої сажі – закриті складські приміщення. Для збереження фізико-хімічні характеристики продукту, не припустимо зберігати білу сажу на земляній поверхні приміщення чи відкритих майданчиках. Приміщення повинні бути прохолодними всередині та добре вентильованими.

Біла сажа не потребує інших спеціальних умов зберігання, адже вона є вибухово- та пожежобезпечною речовиною.

Гарантійний термін зберігання готової продукції становить шість місяців.

Висока дисперсність частинок білої сажі сприяє тривалому знаходженню їх у вигляді пилу у повітрі у виробничих приміщеннях. Гранично допустима концентрація діоксиду кремнію у повітрі виробничої зони дорівнює 1 мг/м^3 , клас небезпеки – 3. Якщо концентрація більша за гранично допустиму, то у працівників уможлиблюється виникнення різних захворювань органів дихання, наприклад силікоз. Для вимірювання вмісту діоксиду кремнію використовують фотоколориметри.

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб убезпечити персонал від потенційних хвороб, викликаних надмірною концентрацією шкідливих речовин у повітрі, необхідне застосування герметичних апаратів та обладнання, проведення місцевої лінії витяжної вентиляції у зонах пилевиділення, використання захисної спецуніформи, регулярне її очищення та періодичне прибирання зон з надмірним пилевиділення. Для цього рекомендується використовувати вакуумні пилососи.

Основним недоліком білої сажі, що обмежує її застосування в резиновій промисловості, є більша, аніж у вуглецевій сажі, щільність і менша змочуваність каучуками. Для покращення змочуваності вуглеводнями (каучуками) сажу піддають процесу гідрофобізації (карбофілізації), тобто обробленню поверхнево-активними речовинами, які за полярними групами запускають процес адсорбції на поверхні кремнезему. Як поверхнево-активні речовини використовують різні спирти, циклоаліфатичні та аліфатичні аміни, що складаються з більше ніж шість атомів вуглецю та кремнієорганічні сполуки (наприклад, силіконове масло).

Порівнюючи білу сажу з аеросилом, відмінностей не надто багато. Біла сажа не використовується у медичній, а також у харчовій промисловостях. В інших випадках вона ідентична аеросилу.

Чому ж тоді стоїть питання у існуванні альтернативи аеросилу? Незважаючи на деякі переваги аеросилу над білою сажею, остання досі продовжує вироблятися та активно використовуватися. Справа в тому, що процес виробництва аеросилу характеризується значно більшою вартістю виробленої продукції, значними затратами енергії та утворенням чималої обсягу побічних продуктів виробництва. Вигода та дешевизна виробництва білої сажі дозволяє їй досі залишатися на ринку.

Як вже було сказано, в Україні ведеться виробництво лише аеросильним методом. В Європі існує кілька країн, які є на сьогодні світовими лідерами у виробництві білої сажі. Компанії “Evonik Degussa”, що базується в

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Німеччині та компанія “Rhodia” у Франції використовують для свого виробництва різновид методу осадження – метод періодичного сіркокислотного осадження кремнезему з розчину силікату натрію. На території пострадянського союзу існує лише завод з виробництва білої сажі методом осадження. Російське акціонерне товариство «Башкирська содова компанія» з заводом у місті Стерлітамак використовує технологію методу осадження виробництва білої сажі. Тобто, під час виробництва силікат натрію взаємодіє з розчином хлористого кальцію і кислотами).

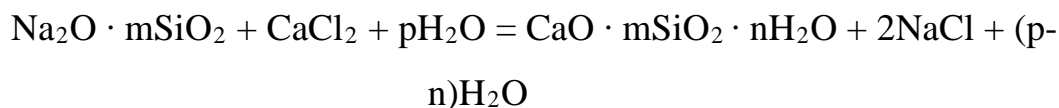
1.2. Опис схеми виробництва білої сажі

Пройдемося по цій технології детальніше. Ця технологія включає в себе п'ять основних стадій виробничого процесу:

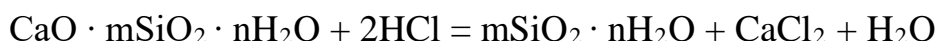
1. Заготовка водяних розчинів силікату натрію. При розчиненні розчину силікату натрію в гідротермальних умовах відбувається процес гідратації. Тобто, частинки води приєднуються до його складових частин.

Потім відбувається процес гідролізу і розчеплення силікату під дією води. Далі слідує процес пептизації (розпад агрегатів і колоїдне розчинення діоксиду кремнію у водяних розчинах гідроксиду натрію і електролітична дисоціація молекул силікату, що перейшли у водяний розчин).

2. Отримання суспензії силікату кальцію. Рівняння реакції отримання цього напівпродукту виглядає наступним чином:



3. За допомогою отриманого силікату кальцію, можна отримати суспензію білої сажі, рівняння якої наведена нижче:



Під час цієї стадії у деяких випадках дозволяється застосовувати сірчану кислоту замість соляної кислоти.

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Отримавши суспензію білої сажі необхідно провести фільтрацію та відмивання осаду білої сажі від побічних речовин - від іонів кальцію, хлору та натрію.

5. Заключна стадія – це осушення білої сажі.

Зобразимо технологічну схему отримання білої сажі на рисунку 1.1.

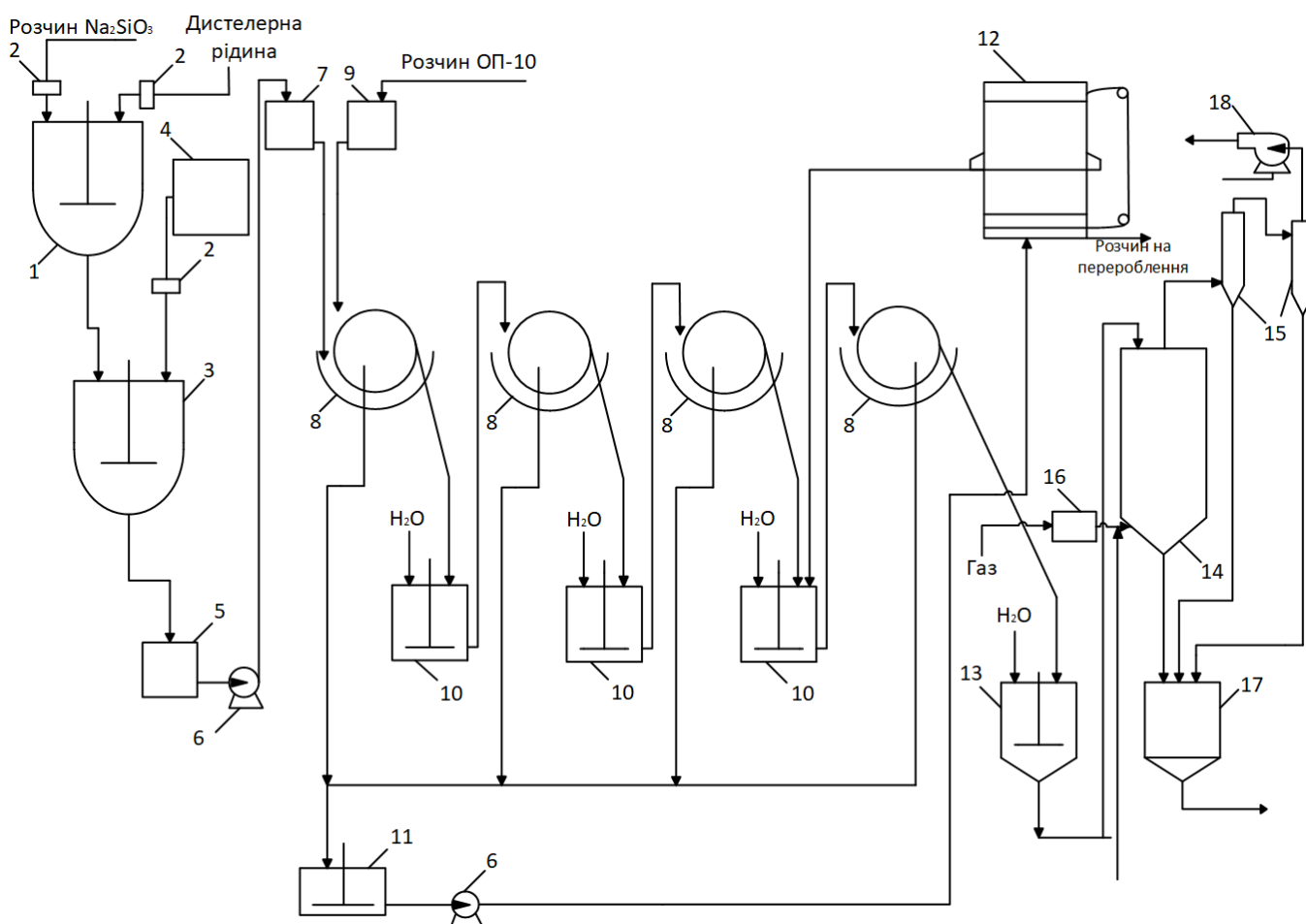


Рис. 1.1. Технологічна схема виробництва білої сажі методом осадження.

В реакторі під номером 1 отримується суспензія силікату кальцію. Реактор має два входи і один вихід. Через перший вхід, на якому встановлений ротаметр з номером 2, подається очищений розчин силікату натрію, густина якого дорівнює 1,1 г/см³ (максимальне відхилення 0,01 г/см³) і вмістом 3,4% (відхилення 0,2%) Na₂O за температури не нижче 50 °С. Через інший вхід, що також включає в себе ротаметр надходить в реактор відфільтрована

дистилерна рідина, до якої попередньо додається дистильована вода для розбавлення до концентрації 3 ... 5 % CaCl_2 . Щоб покращити фільтраційні властивості майбутньої суспензії білої сажі, рідина проходить через установку намагнічування.

Суспензія, отримана в першому реакторі, самоплином направляється в реактор розкладу з номером 3. Цей реактор ще називають реактором осадження білої сажі. Паралельно з надходження суспензії білої сажі з напірного баку 4 в реактор розкладу 3 подають розбавлену дистильованою водою соляну кислоту до концентрації в 15% (відхилення 2%). Рівень pH у реакторі в процесі осадження необхідно підтримувати у межах 4,0 ... 6,0. Щойно створену суспензію білої сажі трубопроводом скеровують у збірник з номером 5. Звідти насоси з номером 6 перекачують її у збірник номер 7, після чого вона надходить на фільтрування у корито вакуум-фільтра з позначкою 8 першого кола фільтрації. Щоб інтенсифікувати процес фільтрування з напірного баку 9 у корито першого вакуум-фільтру подається розчин поверхнево-активної речовини ОП-10, котрий підігрітий до температури 70 °С.

Далі новоутворену пасту білої сажі з вологістю 30 % зрізають з поверхні барабану вакуум-фільтра. Зрізана паста надходить у репульпатор 10, в який додатково заливають дистильовану воду чи конденсат. Після чого, з репульпатора суспензія надходить у наступний вакуум-фільтр. Тобто, блок вакуум-фільтрів слугує для очищення пасти білої сажі від різних домішок, що розчиняються у воді (напр., хлорид кальцію). Пройшовши чотири кола фільтрації, біла сажа надходить на просушення. Відпрацьовані води, що брали участь у процесі фільтрування на всіх фільтрах, направляються у збірник промивних вод номер 11, а потім до фільтру 12. До щойно відфільтрованих вод додають дистилерну рідину, щоб надалі використати для осадження силікату кальцію.

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після проходження останнього вакуум-фільтру, паста білої сажі надходить у репульпатор з номером 13, у якому вона змішується з дистильованою водою або конденсатом. Отримана суміш подається в розпилювач сушарки номер 14, розігріту до температури 250 °С, де вона осушується топковими газами, що подаються з печі номер 16. Щоб знизити температуру розігрітих до 1100 °С топкових газів, їх охолоджують подачею повітря. Процес осушення дозволяє отримати просушену білу сажу до 6,5 % вологості. Вона збирається у нижній канонічній частині розпилювача сушарки, звідки потім направляється до бункеру готової продукції з позначкою 17. Розігріте повітря з сушарки надходить у циклони з номером 15 і виводиться вентилятором 18 у навколишнє середовище. Дрібні частинки білої сажі, що залишилися у циклонах також йдуть до бункеру готової продукції 17, звідки готова продукція – біла сажа надходить до пакувального конвеєру.

Слід додати, що на етапі осадження кислотою фізико-хімічні властивості кінцевого продукту, як от наприклад, питома поверхня адсорбції, оптичні властивості чи рівень рН можна підганяти шляхом зміни температури реакції, часу реакції, вмісту чи концентрації реагентів тощо.

Після процесу осадження йдуть стадії фільтрування, осушення та подрібнення продукції. Під час етапу фільтрації промиваються водами з'являються солі, що були утворені в ході хімічних реакцій. Отримана суспензія, що має вміст вологості до 30% після етапу фільтрації, проходить процес просушення. Останній етап – подрібнення продукції. Він потрібен для зменшення розмірів завеликих грудочок готової продукції, щоб продукція відповідала свої класифікації.

Етап осушення суспензії може бути проведена будь-яким відомим методом просушування [6]. Перевага надається розпилювальним методом. Для цього можна використовувати будь-який тип розпилювача, форсунку з насадкою, що працює під тиском однієї чи двох рідин. Якщо процес фільтрації

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відбувається на фільтр-пресах, то зазвичай використовують форсунку з насадкою, а коли фільтрацію проводять за допомогою вакуум-фільтрів, як у нашому випадку, то використовують турбінний розпилювач сушарки.

Процес осушення є найбільш енергозатратним серед усіх процесів у виробництві білої сажі. Звертаючи увагу на цей факт, у цьому дипломному проекті було запропоновано рішення оптимізації процесу осушення білої сажі та математичну модель розпилювача сушарки. Це допоможе звести затрати енергії процесу осушення до мінімуму.

1.3. Властивості розпилювача сушарки

Розглянемо сушарку та процеси, що в ній проходять більш детально.

Перш за все дамо визначення процесу сушіння. Сушіння – це термічний процес видалення вологи з матеріалу, сировини чи речовини, шляхом випаровуванням. Процес осушення супроводжується зміною об'єму, що також називається усадкою.

Розбіжності матеріалів, сировин чи речовин, що піддаються осушенню по фізико-хімічним і структурномеханічним властивостям, формі, розміру, кількості і т.д. сприяють застосуванню в промислових масштабах різноманітних конструкцій сушильних установок. Існує наступна класифікація найбільш поширених сушильних установок [7]:

1. За способом підводу теплоти до матеріалу:
 - a. Конвективні;
 - b. Кондуктивні;
 - c. Радіаційні;
 - d. Електромагнітні;
 - e. Комбіновані;
2. За функціонуванням у часі:
 - a. Неперервної дії;
 - b. Періодичної дії;
 - c. Напівнеперервної дії;

3. За конструкцією:
- a. Камерні;
 - b. Шахтні;
 - c. Тунельні;
 - d. Барабанні;
 - e. Трубчаті;
 - f. Сублімаційні;
 - g. Розпилювальні тощо;

На сьогодні у виробничих процесах домінують сушарки, побудовані на основі конвективного способі підводу тепла [8].

Розберемо принцип процесу сушіння методом розпилюванням.

Суспензія чи розчин неперервно подається в розпиленому вигляді в сушильну камеру, через яку проходить теплоносій. Теплоносій з однієї сторони підводить тепло до капелек суспензії, а з іншої сторони виступає вологопоглинаючим агентом, так як пари вологи, що випарюються із суспензії під час осушення, переходять в нього. Каплі суспензії, доторкаючись з теплоносієм, висушуються за секунди.

За допомогою розпилюючого механізму, суспензія розпилюється в сушильній камері до дрібних частинок. При цьому, поверхня поверхня просушеної суспензії чи пасти збільшується на порядок. Велика площа поверхні дотику частинок суспензії чи пасти з гарячим теплоносієм, що швидко переміщується, забезпечує ефективний тепломасообмін. Прийнято вважати, що випаровування вологи в цих умовах відбувається практично миттєво і основна частка вологи випаровується в невеликій зоні навкруги розпилюючого пристрою. Інша частина вологи випаровується у всьому просторі сушильної камери.

Емпіричним шляхом було встановлено, що швидкість осушення в розпилювачі сушарки зростає:

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Зі зменшенням розмірів розпиленних частинок;
- Зі збільшенням температури теплоносія на вході в сушильну камеру;
- Зі збільшенням швидкості руху теплоносія відносно матеріалу, що потрібно осушити;
- З покращенням перемішування розпиленого матеріалу з теплоносієм.

У розпилювальних сушарках рідину диспергують трьома способами: за рахунок кінетичної енергії самої рідини, що надходить в механічні форсунки під високим тиском; при використанні кінетичної енергії повітря або пару (пневматичне розпилення), що подаються в газові форсунки; при подачі суспензії на обертові диски (турбіни). У сушарках, що використовуються в малотоннажних каталізаторних виробництвах, для розпилення тонкодисперсних суспензій застосовують механічні форсунки. Пневматичні форсунки забезпечують більшу продуктивність і можуть працювати з концентрованими і «грубими» суспензіями. У великотоннажних виробництвах, а також для розпилення паст використовують дискові (турбінні) форсунки.

До складу установки розпилювальної сушарки входять повітрорудка, нагрівач осушуючого газу, розпилювальний механізм, сушильна камера, вузол для вивантаження висушеної продукції та пилеуловлювального апарату.

Розділ можна підсумувати наступним чином. Біла сажа – це цінний продукт на ринку наповнювачів. Зазвичай, біла сажа виробляється чи газофазовим, чи рідкофазовим методом. Для даної дипломної роботи було обрано розглянути схему виробництва білої сажі рідкофазовим методом, оскільки він забезпечує дешевизну та енергоекономію під час процесу виробництва.

2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1. Параметри контролю виробництва

Провівши ретельне дослідження особливостей процесу виробництва білої сажі, потрібно впровадити автоматичне контролювання наступних параметрів [9]:

- витрату розчину Na_2SiO_3 , що надходить до реактору для осадження силікату кальцію 1,
- витрату дистилерної води, що надходить до реактору для осадження силікату кальцію 1,
- температуру розчину Na_2SiO_3 на вході до реактору для осадження силікату кальцію 1,
- рівень хлороводневої кислоти у напірному баці 3,
- витрату хлороводневої кислоти, що надходить до реактору для осадження білої сажі 2,
- витрату суспензії силікату кальцію на виході з реактора 1,
- значення рН процесу осадження в реакторі 2,
- рівень суспензії білої сажі в збирачі 4,
- рівень суспензії в напірному баці для суспензії білої сажі 6,
- рівень розчину поверхнево-активної речовини ОП-10 на виході з напірного бака 8,
- температуру розчину поверхнево-активної речовини ОП-10 на виході з напірного бака 8,
- витрату розчину поверхнево-активної речовини ОП-10 на виході з напірного бака 8,
- витрату суспензії білої сажі на виході з напірного баку для суспензії білої сажі 6,
- витрату промивних вод, на вході в збирач промивних вод 10,
- рівень промивних вод в збирачі промивних вод 10,

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- тиск у вакуум-фільтрах 7,
- вологість пасти білої сажі з вакуум-фільтрів 7,
- витрату пасти білої сажі на вхід до репульпаторів 9,
- витрату води на вході в репульпатори 9,
- витрату пасти сажі на вході в репульпатор пасти білої сажі

12,

- витрату води на вході в репульпатор пасти білої сажі 12,
- вологість пасти білої сажі на виході з репульпатора 12,
- температуру топкового газу в печі 15,
- вологість білої сажі на виході з розпилювача сушарки 13,
- температуру пасти в розпилювачі сушарки 13,
- вологість білої сажі на виході з циклонів 14,
- витрату білої сажі з розпилювача сушарки 13,
- рівень білої сажі в бункері готової продукції 16,

А також технологічну сигналізацію:

- температура на вході в реактор 1,
- значення рН в реакторі 2,
- температура на виході з напірного баку 8,
- вологість на виході з репульпатора 9,
- вологість на виході з розпилювача сушарки,
- температура в печі 15,
- температура в розпилювачі сушарки 13.

Як висновок, можна сказати, що при розгляді схеми, стало зрозуміли, що необхідно забезпечити контроль, а також в деяких місцях індикацію та сигналізацію для багатьох технологічних параметрів. Це необхідного для стабільності та надійності технологічного процесу. Всі технологічні параметри, що необхідного покращити наведені у таблиці 2.1.

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1. Параметри контролю виробництва

П/п	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1	Розчин Na_2SiO_3 , трубопровід 28	Витрата	-	Контроль
2	Дистилерна вода, трубопровід 29	Витрата	-	Контроль
3	Розчин Na_2SiO_3 , трубопровід 28	Температура	50 °C	Контроль, Сигналізація, Індикація
4	Хлороводнева кислота, напірний бак 3	Рівень	-	Контроль
5	Хлороводнева кислота, трубопровід 12	Витрата	-	Контроль
6	Суспензія силікату кальцію, реактор 2	Витрата	-	Контроль
7	Суспензія білої сажі, трубопровід 31	pH розчину	4 ... 6	Контроль, Сигналізація, Індикація
8	Суспензія білої сажі, збирач 4	Рівень	-	Контроль
9	Суспензія білої сажі, напірний бак 6	Рівень	-	Контроль
10	Розчин ОП-10, напірний бак 8	Рівень	-	Контроль
11	Розчин ОП-10, трубопровід 32	Температура	70 °C	Контроль, Сигналізація, Індикація

12	Розчин ОП-10, трубопровід 32	Витрата	-	Контроль
13	Суспензія білої сажі, трубопровід 31	Витрата	-	Контроль
14	Промивні води, Трубопровід 34	Витрата	-	Контроль
15	Промивні води, збирач 10	Рівень	-	Контроль
16	Паста білої сажі, вакуум-фільтр 7.1	Тиск	-	Контроль
17	Паста білої сажі, трубопровід 33	Вологість	-	Контроль, Індикація
18	Паста білої сажі, трубопровід 33	Витрата	-	Контроль
19	Вода, трубопровід 1	Витрата	-	Контроль
20	Паста білої сажі, вакуум-фільтр 7.2	Тиск	-	Контроль
21	Паста білої сажі, трубопровід 33	Вологість	-	Контроль, Індикація
22	Паста білої сажі, трубопровід 33	Витрата	-	Контроль
23	Вода, трубопровід 1	Витрата	-	Контроль
24	Паста білої сажі, вакуум-фільтр 7.2	Тиск	-	Контроль
25	Паста білої сажі, трубопровід 33	Вологість	-	Контроль, Індикація
26	Паста білої сажі, трубопровід 33	Витрата	-	Контроль

27	Вода, трубопровід 1	Витрата	-	Контроль
28	Паста білої сажі, вакуум-фільтр 7.4	Тиск	-	Контроль
29	Паста білої сажі, трубопровід 33	Витрата	-	Контроль
30	Вода, трубопровід 1	Витрата	-	Контроль
31	Паста білої сажі, трубопровід 33	Вологість	30 %	Контроль, Сигналізація, Індикація
32	Топковий газ, трубопровід 36	Температура	1100 °С	Контроль, Сигналізація, Індикація
33	Паста білої сажі, розпилювач сушарки 13	Температура	250 °С	Контроль, Сигналізація, Індикація
34	Дрібні частинки білої сажі, трубопровід 38	Вологість	-	Контроль, Індикація
35	Дрібні частинки білої сажі, трубопровід 38	Вологість	-	Контроль, Індикація
36	Паста білої сажі, трубопровід 37	Вологість	6,5 %	Контроль, Сигналізація, Індикація
37	Біла сажа, трубопровід 37	Витрата	-	Контроль
38	Біла сажа, бункер 16	Рівень	-	Контроль

2.2. Розробка схеми автоматизації

Схема автоматичного контролю процесу виробництва білої сажі складається з низки контурів направлених на контроль, індикацію та сигналізацію. До контурів контролю входять контури контролю витрати, рівня, вологості та температури [10].

Контур 1 контролює витрату розчину Na_2SiO_3 в трубопроводі 28 та включає: (1-1) - компактна вимірювальна діафрагма; (1-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску.

Контур 2 контролює витрату дистилерної води в трубопроводі 29 та включає: (2-1) - компактна вимірювальна діафрагма; (2-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску; (2-3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (2-4) – електричний клапан.

Контур 3 контролює температуру розчину Na_2SiO_3 в трубопроводі 28 та включає: (3-1) - термоелектричний перетворювач; (3-2) - автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; HL3 - лампа електрична сигнальна.

Контур 4 контролює рівень хлороводневої кислоти у напірному баку 3 та включає: (4-1) - багатопараметричний датчик перепаду з розрахунком рівня; (4-2) - перетворювач температури; (4-3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (4-4) – електричний клапан.

Контур 5 контролює витрату хлороводневої кислоти, що надходить в реактор 2 та включає: (5-1) - компактна вимірювальна діафрагма; (5-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску;

Контур 6 контролює витрату суспензії силікату кальцію в трубопроводі 30 та включає: (6-1) - компактна вимірювальна діафрагма; (6-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску; (6-3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (6-4) – електричний клапан.

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контур 7 контролює рівень рН суспензії білої сажі в трубопроводі 31 процесу осадження в реакторі 2 та включає: (7-1) – рН-метр; (7-2) – перетворювач високоомний; (7-3) - прилад вторинний, показувальний, реєструвальний; HL4, HL5 - лампи електричні сигнальні.

Контур 8 контролює рівень суспензії білої сажі, що надходить в збирач 4 та включає: (8-1) - багатопараметричний датчик перепаду з розрахунком рівня; (8-2) - перетворювач температури; (8-3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (8-4) – електричний клапан.

Контур 9 контролює рівень суспензії білої сажі, що надходить у напірний бак для суспензії білої сажі 6 та включає: (9-1) – багатопараметричний датчик перепаду з розрахунком рівня; (9-2) - перетворювач температури; (9-3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (9-4) – електричний клапан.

Контур 10 контролює рівень водних розчинів ОП-10, що надходить до напірного баку для водних розчинів ОП-10 8 та включає: (10-1) – багатопараметричний датчик перепаду з розрахунком рівня; (10-2) - перетворювач температури; (10-3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (10-4) – електричний клапан.

Контур 11 контролює температуру водних розчинів ОП-10 в трубопроводі 32 та включає: (11-1) - термоелектричний перетворювач; (11-2) - автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; HL6 - лампа електрична сигнальна.

Контур 12 контролює витрату водних розчинів ОП-10 в трубопроводі 32, що надходять у вакуум-фільтри 7 та включає: (12-1) - компактна вимірювальна діафрагма, (12-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску;

Контур 13 контролює витрату суспензії білої сажі в трубопроводі 31, що надходить у вакуум-фільтри 7 та включає: (13-1) - компактна вимірювальна діафрагма; (13-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску; (13-

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (13-4) – електричний клапан.

Контур 14 контролює витрату промивних вод в трубопроводі 34, що надходять до збірника промивних вод 10 та включає: (14-1) - компактна вимірювальна діафрагма; (14-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску; (14-3) - автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний пристрій.

Контур 15 контролює рівень промивних вод у збірнику промивних вод 10 та включає: (15-1) – багатопараметричний датчик перепаду з розрахунком рівня; (15-2) - перетворювач температури; (15-3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (15-4) – електричний клапан.

Контур 16 контролює тиск в у вакуум-фільтрі 7.1 та включає: (16-1) - інтелектуальний датчик надлишкового тиску; (16-2) - Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний пристрій.

Контур 17 контролює вологість пасти білої сажі на трубопроводі 33 та включає: (17-1) – система вимірювання абсолютної вологості; (17-2) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 18 контролює витрату пасти білої сажі в трубопроводі 33, що надходить до репульпатора 9.1 та включає: (18-1) - компактна вимірювальна діафрагма, (18-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску;

Контур 19 контролює витрату води в трубопроводі 1, що надходить у репульпатор 9.1 та включає: (19-1) - компактна вимірювальна діафрагма; (19-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску; (19-3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (19-4) – електричний клапан.

Контур 20 контролює тиск в у вакуум-фільтрі 7.2 та включає: (20-1) - інтелектуальний датчик надлишкового тиску; (20-2) - Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний пристрій.

Контур 21 контролює вологість пасти білої сажі на трубопроводі 33 та

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

включає: (21-1) – система вимірювання абсолютної вологості; (21-2) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 22 контролює витрату пасти білої сажі в трубопроводі 33, що надходить до репульпатора 9.2 та включає: (22-1) - компактна вимірювальна діафрагма, (22-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску;

Контур 23 контролює витрату води в трубопроводі 1, що надходить у репульпатор 9.2 та включає: (23-1) - компактна вимірювальна діафрагма; (23-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску; (23-3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (23-4) – електричний клапан.

Контур 24 контролює тиск в у вакуум-фільтрі 7.3 та включає: (24-1) - інтелектуальний датчик надлишкового тиску; (24-2) - Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний пристрій.

Контур 25 контролює вологість пасти білої сажі на трубопроводі 33 та включає: (25-1) – система вимірювання абсолютної вологості; (25-2) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 26 контролює витрату пасти білої сажі в трубопроводі 33, що надходить до репульпатора 9.3 та включає: (26-1) - компактна вимірювальна діафрагма, (26-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску;

Контур 27 контролює витрату води в трубопроводі 1, що надходить у репульпатор 9.3 та включає: (27-1) - компактна вимірювальна діафрагма; (27-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску; (27-3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (27-4) – електричний клапан.

Контур 28 контролює тиск в у вакуум-фільтрі 7.4 та включає: (28-1) - інтелектуальний датчик надлишкового тиску; (28-2) - Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний пристрій.

Контур 29 контролює витрату пасти білої сажі в трубопроводі 33, що надходить до репульпатора пасти білої сажі 12 та включає: (29-1) - компактна

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювальна діафрагма, (29-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску;

Контур 30 контролює витрату води в трубопроводі 1, що надходить у ркпульпатор пасти білої сажі 12 та включає: (30-1) - компактна вимірювальна діафрагма; (30-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску; (30-3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (30-4) – електричний клапан.

Контур 31 контролює вологість пасти білої сажі на трубопроводі 33 на виході з репульпатора пасти білої сажі 12 та включає: (31-1) – система вимірювання абсолютної вологості; (31-2) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; HL7 - лампа електрична сигнальна.

Контур 32 контролює температуру топкових газів в трубопроводі 36 та включає: (32-1) - термоелектричний перетворювач; (32-2) - автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; (32-3) – електричний клапан; HL8 - лампа електрична сигнальна.

Контур 33 індидує температуру пасти білої сажі в розпилювачі сушарки 13 та включає: (33-1) - термоелектричний перетворювач; (33-2) - автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; HL9 - лампа електрична сигнальна.

Контур 34 контролює вологість пасти білої сажі на трубопроводі 38 на виході з циклону 14.1 та включає: (34-1) – система вимірювання абсолютної вологості; (34-2) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 35 контролює вологість пасти білої сажі на трубопроводі 38 на виході з циклону 14.2 та включає: (35-1) – система вимірювання абсолютної вологості; (35-2) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 36 контролює вологість білої сажі на трубопроводі 37 на виході з розпилювача сушарки 13 та включає: (36-1) – система вимірювання абсолютної вологості; (36-2) – автоматичний показувальний і реєструвальний

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вторинний прилад; HL10 - лампа електрична сигнальна.

Контур 37 контролює витрату білої сажі на трубопроводі 37 на виході з розпилювача сушарки 13 та включає: (37-1) - компактна вимірювальна діафрагма; (37-2) - інтелектуальний датчик перепаду тиску; (37-3) - автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний пристрій.

Контур 38 забезпечує контроль рівню білої сажі у бункері готової продукції та включає: (38-1) – багатопараметричний датчик перепаду з розрахунком рівня; (38-2) - перетворювач температури; (38-3) - програмований логічний контролер, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації; (38-4) – електричний клапан.

Отже, у розділі була розроблена схема автоматизації (додаток ДП.ЛА51.5117.001.СхАв). Були розроблені 38 контурів, що забезпечують повну автоматизацію процесу виробництва. Контури включають в себе контроль, індикацію та сигналізацію за технологічним параметром.

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СУШАРКИ.

Розпилювач сушарки є важливим об'єктом в процесі виробництва білої сажі. Він просушує сировину – білу сажу, до потрібної нам вологості. Осушення відбувається за допомогою розігрітих топкових газів, що подаються з топкової пічки.

Таким чином можна дійти до заключення, що у розпилювача сушарки є два входи, в один з яких подається безпосередньо паста білої сажі, а в інший подаються топкові гази.

Відповідно існують два виходи, звідки виходять уже висушена паста білої сажі та відпрацьовані топкові гази.

3.1. Структурно-параметрична схема розпилювача сушарки

Розглянемо вхідні потоки розпилювача сушарки.

На рис. 3.1. показано структурно-параметричну схему розпилювача сушарки. На вхід якої надходить паста білої сажі і топкові гази. На виході з установки отримуємо також пасту білої сажі, але вже з меншим вмістом вологості та відпрацьовані топкові гази.

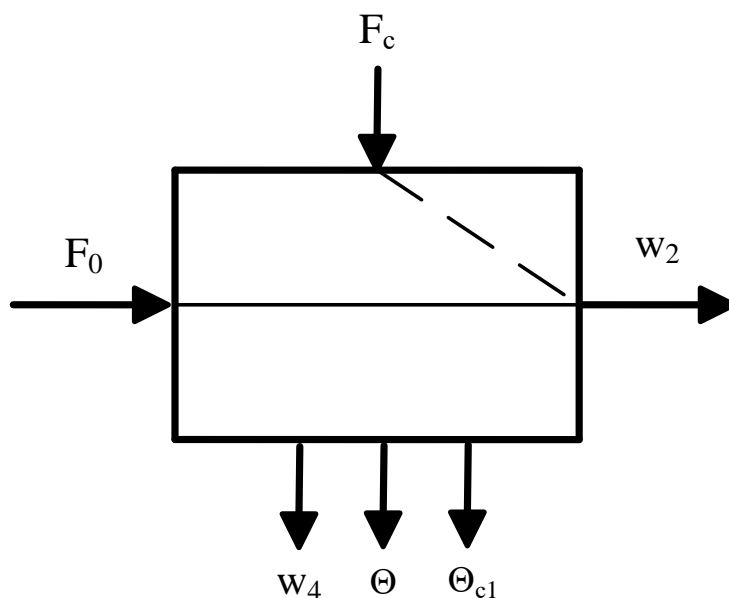


Рис. 3.1. Спрощена структурно-параметрична схема розпилювача сушарки.

3.2. Вплив вхідних параметрів та збурень на вихідні параметри об'єкту керування

Регулювальною величиною, що характеризує стан розпилювача сушарки, є вологість пасти білої сажі (w_2).

Проміжними величинами є температура газів на виході з апарату (Θ), температура пасти білої сажі на виході (Θ_{c1}) та вологість топкових газів на виході (w_4).

Керуючою дією є витрата топкових газів на вході (F_0), бо від цього залежить якість осушення пасти білої сажі.

Збуренням же візьмемо витрату пасти білої сажі на вході (F_c).

3.3. Математична модель технологічного об'єкту

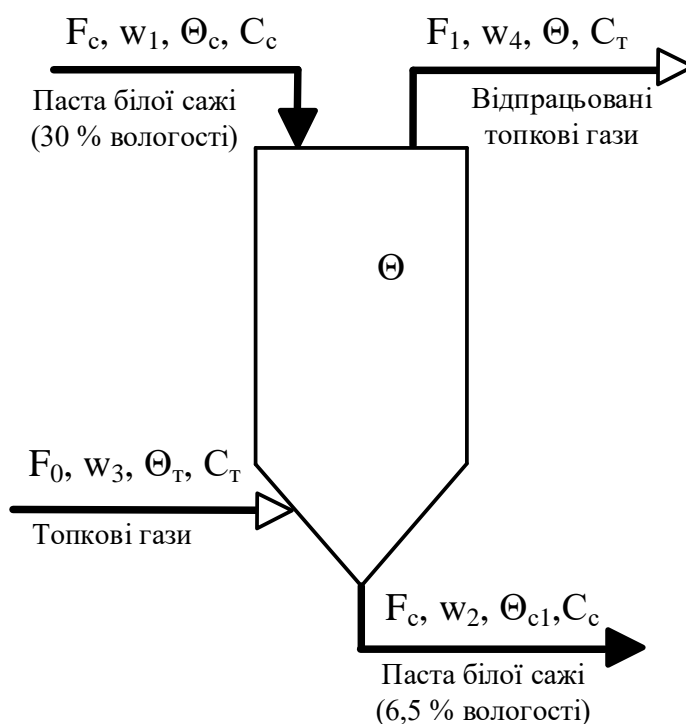


Рис. 3.2. Розрахункова схема розпилювача сушарки

На схемі розпилювача сушарки (рис. 3.2) позначені наступні технологічні параметри:

F_c – витрата пасти білої сажі на вході, кг/год;

F_0 – витрата топкових газів на вході, кг/год;

F_1 – витрата топкових газів на виході, кг/год;

Θ_T – температура топкових газів на вході, °C;

Θ_c – температура пасти білої сажі, °C;

Θ_{c1} – температура пасти білої сажі на виході, °C;

Θ – температура газів всередині апарату і на виході, °C;

C_c – питома теплоємність пасти білої сажі, кДж/(кг °C);

C_T – питома теплоємність топкових газів, кДж/(кг °C);

w_1 – вологість пасти білої сажі на вході, кг/м³;

w_2 – вологість пасти білої сажі на виході, кг/м³;

w_3 – вологість топкових газів на вході, кг/м³;

w_4 – вологість топкових газів на виході, кг/м³;

Це об'єкт з нерозподіленими (зосередженими) параметрами. При моделюванні статичного та динамічного режимів випарника робимо такі припущення:

1. Втрати тепла в навколишнє середовище незначні, поглинаються стінками розпилювача сушарки, тому знехтуємо ними;
2. Випарювання відбувається при різних температурах;
3. Середня вологість між вхідною та вихідною вологістю на вході в апарат підтримується на постійному рівні;
4. Температура топкових газів на виході дорівнює температурі в апараті
5. Акумулююча ємність топкових газів в сушарці -динамічна ланка з повним перемішуванням
6. Акумулююча ємність пасти білої сажі – динамічна ланка з лінійно розподіленими вологістю і температурою

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1. Основні параметри статичного режиму

п/п	Назва параметру	Позначення	Одиниці вимірювання	Числові значення
1	Витрата пасти білої сажі на вході	F_c	кг/год	1235
2	Витрата топкових газів на вході	F_0	кг/год	3560
3	Витрата топкових газів на виході	F_1	кг/год	3850
4	Температура топкових газів на вході	Θ_T	кг/год	250
5	Температура пасти білої сажі на вході	Θ_c	°C	140
6	Температура пасти білої сажі на виході	Θ_{cl}	°C	60
7	Температура газів всередині апарату і на виході	Θ	°C	250
8	Питома теплоємність білої сажі	C_c	кДж/(кг·°C)	1,255
9	Питома теплоємність топкових газів	C_T	кДж/(кг·°C)	1,97
10	Вологість пасти білої сажі на вході	w_1	кг/кг	0,3
11	Вологість пасти білої сажі на виході	w_2	кг/кг	0,065
12	Вологість топкових газів на вході	w_3	кг/кг	0,01
13	Вологість топкових газів на виході	w_4	кг/кг	0,09

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5117.00.000.ПЗ

Арк.

36

14	Кількість вологи, що випаровується в одиницю часу з усього об'єму	L	кг/год	290
15	Скрита теплота пароутворення	r	кДж/кг	2200
16	Об'єм пасти білої сажі	V _c	м ³	1,7
17	Об'єм топкових газів	V _т	м ³	7,9
18	Коефіцієнт рівнозваженості	m	-	0,6
19	Параметр топкових газів	kc	-	2929
20	Параметр білої сажі	kt	-	4873
21	Площа контакту розпилення	S	м ²	30·10 ⁻⁶

3.4. Рівняння теплових і матеріальних балансів

Прийmemo кількість води L , що випаровується в одиницю часу з усього об'єму рівною для пасти білої сажі і для топкових газів:

$$L_1 = L_2$$

Тобто,

$$k_c \cdot S \cdot \left(\frac{(w_2 - w_{3p}) + (w_1 - w_{4p})}{2} \right) = k_T \cdot S \cdot \left(\frac{(w_{2p} - w_3) + (w_{1p} - w_4)}{2} \right)$$

Матеріальний баланс за вологою по пасти білої сажі в статичному режимі:

$$F_c \cdot w_1 - F_c \cdot w_2 - L_1 = 0, \quad (1)$$

Матеріальний баланс за вологою по топкових газах в статичному режимі:

$$F_0 \cdot w_3 - F_1 \cdot w_4 + L_2 = 0, \quad (2)$$

$$\text{де } F_1 = F_0 + L_2,$$

$$\text{де } L_2 = k_T \cdot S \cdot \left(\frac{(w_{2p} - w_3) + (w_{1p} - w_4)}{2} \right) \quad (3)$$

Тепловий баланс по пасти білої сажі в статичному режимі:

$$F_c \cdot c_c \cdot \theta_c - F_c \cdot c_c \cdot \theta_{c1} + L_1 \cdot r = 0 \quad (4)$$

Тепловий баланс по топкових газах в статичному режимі:

$$F_0 \cdot c_T \cdot \theta_T - F_1 \cdot c_T \cdot \theta - L_2 \cdot r = 0 \quad (5)$$

Матеріальний баланс за вологою по пасти білої сажі в динамічному режимі:

$$F_c \cdot w_1 - F_c \cdot w_2 - L_1 = V_c \cdot \rho_c \frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{w_1 + w_2}{2} \right), \quad (6)$$

Матеріальний баланс за вологою по топкових газах в динамічному режимі:

$$F_0 \cdot w_3 - F_1 \cdot w_4 + L_2 = V_T \cdot \rho_T \frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{w_3 + w_4}{2} \right), \quad (7)$$

Тепловий баланс по пасті білої сажі в динамічному режимі:

$$F_c \cdot c_c \cdot \theta_c - F_c \cdot c_c \cdot \theta_{c1} + L_1 \cdot r = V_c \cdot \rho_c \frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{\theta_c + \theta_{c1}}{2} \right), \quad (8)$$

Тепловий баланс по топкових газах в динамічному режимі:

$$F_0 \cdot c_T \cdot \theta_T - F_1 \cdot c_T \cdot \theta - L_2 \cdot r = V_T \cdot \rho_T \frac{d\theta}{dt}, \quad (9)$$

Отримуємо наступну систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_c \cdot w_1 - F_c \cdot w_2 - L_1 = V_c \cdot \rho_c \frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{w_1 + w_2}{2} \right) \\ F_0 \cdot w_3 - F_1 \cdot w_4 + L_2 = V_T \cdot \rho_T \frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{w_3 + w_4}{2} \right) \\ F_c \cdot c_c \cdot \theta_c - F_c \cdot c_c \cdot \theta_{c1} + L_1 \cdot r = V_c \cdot \rho_c \frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{\theta_c + \theta_{c1}}{2} \right) \\ F_0 \cdot c_T \cdot \theta_T - F_1 \cdot c_T \cdot \theta - L_2 \cdot r = V_T \cdot \rho_T \frac{d\theta}{dt} \end{array} \right. \quad (10)$$

3.5. Лінеаризація рівнянь

Отримані диференціальні рівняння (10) є нелінійними диференціальними рівняннями. Хоча ці дифрівняння математично описують систему, проте вони не є придатними для подальшого аналізу й використання. Щоб отримати лінійних диференціальних рівнянь, за допомогою яких можна встановити властивості сушарки, пролінеаризуємо нелінійні диференціальні рівняння в точках основного статичного режиму.

$$\begin{array}{ll} w_2 = w_2^0 + \Delta w_2; & F_0 = F_0^0 + \Delta F_0; \\ F_c = F_c^0 + \Delta F_c; & \theta = \theta^0 + \Delta \theta; \\ w_4 = w_4^0 + \Delta w_4; & \theta_{c1} = \theta_{c1}^0 + \Delta \theta_{c1}; \end{array}$$

Використаємо формули для лінеаризації рівнянь:

$$f(\bar{x}) = \frac{df(x_1, x_2, \dots, x_n)}{dx_1} |0 \cdot \Delta x_1 + \frac{df(x_1, x_2, \dots, x_n)}{dx_2} |0 \cdot \Delta x_2 + \dots + \frac{df(x_1, x_2, \dots, x_n)}{dx_n} |0 \cdot \Delta x_n \quad (11)$$

В результаті отримаємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta F_c(w_1 - w_2) - \Delta w_2(F_c + \frac{k_c \cdot S}{2}) - \Delta w_4 \cdot \frac{k_c \cdot S}{2} = V_c \cdot \rho_c \frac{d(\Delta w_2)}{dt} \\ \Delta F_0(w_3 - w_4) - \Delta w_4(F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_1}{2} - \\ - k_T \cdot S \cdot w_4 + \frac{k_T \cdot S}{2}) - \Delta w_2(\frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_4}{2} - \frac{k_T \cdot S}{2}) = V_c \cdot \rho_c \frac{d(\Delta w_4)}{dt} \\ \Delta F_c(c_c \cdot \theta_c - c_c \cdot \theta_{c1}) - \Delta \theta_{c1} \cdot F_c \cdot c_c + \Delta w_2 \cdot \frac{k_c \cdot S \cdot r}{2} - \Delta w_4 \cdot \frac{2k_c \cdot S \cdot r}{m} = V_c \cdot \rho_c \frac{d(\Delta \theta_{c1})}{dt} \\ \Delta F_0(c_T \cdot \theta_T - c_T \cdot \theta) - \Delta \theta(c_T \cdot F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_3}{2} + \\ + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_1}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_4}{2}) - \Delta w_2(\frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot c_T \cdot \theta}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot r \cdot m}{2}) + \\ + \Delta w_4(\frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot \theta}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot r}{2}) = V_T \cdot \rho_T \frac{d(\Delta \theta)}{dt} \end{array} \right. \quad (12)$$

3.6. Рівняння в канонічній формі і в формі Коші

Ділимо перше рівняння з (12) на $(F_c + \frac{k_c \cdot S}{2})$:

$$\Delta F_c \cdot \frac{w_1 - w_2}{F_c + \frac{k_c \cdot S}{2}} - \Delta w_2 + \Delta w_4 \cdot \frac{2k_c \cdot S}{m \cdot (F_c + \frac{k_c \cdot S}{2})} = \frac{V_c \cdot \rho_c}{F_c + \frac{k_c \cdot S}{2}} \frac{d(\Delta w_2)}{dt}, \quad (13)$$

Введемо наступні позначення для рівняння:

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{V_c \cdot \rho_c}{F_c + \frac{k_c \cdot S}{2}} \\ k_{F_c w_2} &= \frac{w_1 - w_2}{F_c + \frac{k_c \cdot S}{2}} \\ k_{w_4 w_2} &= \frac{2k_c \cdot S}{m \cdot (F_c + \frac{k_c \cdot S}{2})} \end{aligned} \quad (14)$$

$$k_{F_c w_2 v} = \frac{w_1 - w_2 - 0.2w_2}{F_c + \frac{k_c \cdot S}{2}}$$

Де $T_1 = 6.304 \cdot 10^{-4}$

$k_{F_c w_2} = 8.715 \cdot 10^{-5}$

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{w_4 w_2} = 3.613$$

$$k_{F_c w_2 v} = 1.743 \cdot 10^{-5}$$

Запишемо рівняння з врахування позначень у канонічній формі:

$$T_1 \frac{d(\Delta w_2(t))}{dt} + \Delta w_2(t) + k_{w_4 w_2} \cdot \Delta w_4(t) = k_{F_c w_2} \cdot \Delta F_c(t) \quad (15)$$

Ділимо друге рівняння з (12) на

$$(F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_1}{2} - k_T \cdot S \cdot w_4 + \frac{k_T \cdot S}{2}) :$$

$$\begin{aligned} & \Delta F_0 \left(\frac{(w_3 - w_4)}{F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_1}{2} - k_T \cdot S \cdot w_4 + \frac{k_T \cdot S}{2}} \right) - \Delta w_4 + \\ & + \Delta w_2 \left(\frac{\frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_4}{2} - \frac{k_T \cdot S}{2}}{F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_1}{2} - k_T \cdot S \cdot w_4 + \frac{k_T \cdot S}{2}} \right) = \\ & = \frac{V_T \cdot \rho_T}{F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_1}{2} - k_T \cdot S \cdot w_4 + \frac{k_T \cdot S}{2}} \frac{d(\Delta w_4)}{dt} \end{aligned} \quad (16)$$

Введемо наступні позначення для рівняння (16):

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{V_T \cdot \rho_T}{F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_1}{2} - k_T \cdot S \cdot w_4 + \frac{k_T \cdot S}{2}} \\ k_{F_0 w_4} &= \frac{(w_3 - w_4)}{F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_1}{2} - k_T \cdot S \cdot w_4 + \frac{k_T \cdot S}{2}} \\ k_{w_2 w_4} &= \frac{\frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_4}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot m}{2}}{F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot w_1}{2} - k_T \cdot S \cdot w_4 + \frac{k_T \cdot S}{2}} \end{aligned} \quad (17)$$

Де $T_2 = 1.302 \cdot 10^{-3}$ $k_{F_0 w_4} = -1.319 \cdot 10^{-5}$ $k_{w_2 w_4} = -0.219$

Запишемо рівняння з врахування позначень у канонічній формі:

$$T_2 \frac{d(\Delta w_4(t))}{dt} + \Delta w_4(t) + k_{w_2 w_4} \cdot \Delta w_4(t) = k_{F_0 w_4} \cdot \Delta F_0(t), \quad (18)$$

Ділимо третє рівняння з на $(F_c \cdot c_c)$:

$$\Delta F_c \frac{(c_c \cdot \theta_c - c_c \cdot \theta_{c1})}{F_c \cdot c_c} - \Delta \theta_{c1} + \Delta w_2 \cdot \frac{k_c \cdot S \cdot r}{2F_c \cdot c_c} - \Delta w_4 \cdot \frac{2k_c \cdot S \cdot r}{m \cdot F_c \cdot c_c} = \frac{V_c \cdot \rho_c}{2F_c \cdot c_c} \frac{d(\Delta \theta_{c1})}{dt}, \quad (19)$$

Введемо наступні позначення для рівняння (19):

$$\begin{aligned} T_3 &= \frac{V_c \cdot \rho_c}{2F_c \cdot c_c}, & k_{F_c \theta_{c1}} &= \frac{\theta_c - \theta_{c1}}{F_c}, \\ k_{w_2 \theta_{c1}} &= \frac{k_c \cdot S \cdot r}{2F_c \cdot c_c}, & k_{w_4 \theta_{c1}} &= \frac{2k_c \cdot S \cdot r}{m \cdot F_c \cdot c_c} \\ k_{F_c \theta_{c1} v} &= \frac{\theta_c - \theta_{c1} - 0,2\theta_{c1}}{F_c} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \text{Де } T_3 &= 1.097 \cdot 10^{-6} & k_{F_c \theta_{c1}} &= -0.016 & k_{w_2 \theta_{c1}} &= 2.074 \\ k_{w_4 \theta_{c1}} &= 13.83 & k_{F_c \theta_{c1} v} &= -0.026 \end{aligned}$$

Запишемо рівняння з врахування позначень у канонічній формі:

$$T_3 \frac{d(\Delta \theta_{c1}(t))}{dt} + \Delta \theta_{c1}(t) - k_{w_2 \theta_{c1}} \cdot \Delta w_2(t) + k_{w_4 \theta_{c1}} \cdot \Delta w_4(t) = k_{F_c \theta_{c1}} \cdot \Delta F_c(t), \quad (21)$$

Ділимо четверте рівняння з на

$$\begin{aligned} & (c_T \cdot F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_1}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_4}{2}): \\ \Delta F_0 & \frac{(c_T \cdot \theta_T - c_T \cdot \theta)}{(c_T \cdot F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_1}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_4}{2})} - \Delta \theta - \\ & - \Delta w_2 \frac{\frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot c_T \cdot \theta}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot r \cdot m}{2}}{(c_T \cdot F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_1}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_4}{2})} + \\ & - \Delta w_4 \frac{\frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot \theta}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot r}{2}}{(c_T \cdot F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_1}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_4}{2})} = \end{aligned}$$

$$= \frac{V_T \cdot \rho_T}{(c_T \cdot F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_1}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_4}{2})} \frac{d(\Delta\theta)}{dt}, \quad (22)$$

Введемо наступні позначення для цього рівняння:

$$\begin{aligned} T_4 &= \frac{V_T \cdot \rho_T}{(c_T \cdot F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_1}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_4}{2})}, \\ k_{F_0\theta} &= \frac{(c_T \cdot \theta_T - c_T \cdot \theta)}{(c_T \cdot F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_1}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_4}{2})}, \\ k_{w_2\theta} &= \frac{\frac{k_T \cdot S \cdot m \cdot c_T \cdot \theta}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot r \cdot m}{2}}{(c_T \cdot F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_1}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_4}{2})}, \\ k_{w_4\theta} &= \frac{\frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot \theta}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot r}{2}}{(c_T \cdot F_0 + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_2}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_3}{2} + \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot m \cdot w_1}{2} - \frac{k_T \cdot S \cdot c_T \cdot w_4}{2})} \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \text{Де } T_4 &= 9.351 \cdot 10^{-7} & k_{F_0\theta} &= 5.195 \cdot 10^{-3} \\ k_{w_2\theta} &= 95.354 & k_{w_4\theta} &= 158.923 \end{aligned}$$

Запишемо рівняння з врахування позначень у канонічній формі:

$$T_4 \frac{d(\Delta\theta(t))}{dt} + \Delta\theta(t) + k_{w_2\theta} \cdot \Delta w_2(t) - k_{w_4\theta} \cdot \Delta w_4(t) = k_{F_0\theta} \cdot \Delta F_0(t), \quad (24)$$

Отримана система диференціальних рівнянь описує поведінку системи у динамічному режимі.

$$\left\{ \begin{aligned} T_1 \frac{d(\Delta w_2(t))}{dt} + \Delta w_2(t) + k_{w_4 w_2} \cdot \Delta w_4(t) &= k_{F_c w_2} \cdot \Delta F_c(t) \\ T_2 \frac{d(\Delta w_4(t))}{dt} + \Delta w_4(t) + k_{w_2 w_4} \cdot \Delta w_2(t) &= k_{F_0 w_4} \cdot \Delta F_0(t) \\ T_3 \frac{d(\Delta\theta_{c1}(t))}{dt} + \Delta\theta_{c1}(t) - k_{w_2 \theta_{c1}} \cdot \Delta w_2(t) + k_{w_4 \theta_{c1}} \cdot \Delta w_4(t) &= k_{F_c \theta_{c1}} \cdot \Delta F_c(t) \\ T_4 \frac{d(\Delta\theta(t))}{dt} + \Delta\theta(t) + k_{w_2 \theta} \cdot \Delta w_2(t) - k_{w_4 \theta} \cdot \Delta w_4(t) &= k_{F_0 \theta} \cdot \Delta F_0(t) \end{aligned} \right.$$

3.7. Перетворення за Лапласом змінної часу

Щоб представити систему відповідними передатними функціями потрібно диференціальне рівняння записати в операційній формі: тобто після перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow p$:

$$\Delta w_2(t) \rightarrow w_2(p)$$

$$\Delta F_0(t) \rightarrow F_0(p)$$

$$\Delta F_c(t) \rightarrow F_c(p)$$

$$\Delta \theta(t) \rightarrow \Delta \theta(p)$$

$$\Delta \theta_{c1}(t) \rightarrow \Delta \theta_{c1}(p)$$

$$\Delta w_4(t) \rightarrow w_4(p)$$

Отримуємо наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} (T_1 p + 1)w_2(p) - k_{w_4 w_2} \cdot w_4(p) = k_{F_c w_2} \cdot F_c(p) \\ (T_2 p + 1)w_4(p) - k_{w_2 w_4} \cdot w_2(p) = k_{F_0 w_4} \cdot F_0(p) \\ (T_3 p + 1)\theta_{c1}(p) - k_{w_2 \theta_{c1}} \cdot w_2(p) + k_{w_4 \theta_{c1}} \cdot w_4(p) = k_{F_c \theta_{c1}} \cdot F_c(p) \\ (T_4 p + 1)\theta(p) + k_{w_2 \theta} \cdot w_2(p) - k_{w_4 \theta} \cdot w_4(p) = k_{F_0 \theta} \cdot F_0(p) \end{cases} \quad (25)$$

Складемо визначник системи рівнянь:

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} (T_1 p + 1) & -k_{w_4 w_2} & 0 & 0 \\ -k_{w_2 w_4} & (T_2 p + 1) & 0 & 0 \\ -k_{w_2 \theta_{c1}} & k_{w_4 \theta_{c1}} & (T_3 p + 1) & 0 \\ k_{w_2 \theta} & -k_{w_4 \theta} & 0 & (T_4 p + 1) \end{vmatrix} = \\ &= (T_1 p + 1) \begin{vmatrix} (T_2 p + 1) & 0 & 0 \\ k_{w_4 \theta_{c1}} & (T_3 p + 1) & 0 \\ -k_{w_4 \theta} & 0 & (T_4 p + 1) \end{vmatrix} + k_{w_4 w_2} \begin{vmatrix} -k_{w_2 w_4} & 0 & 0 \\ -k_{w_2 \theta_{c1}} & (T_3 p + 1) & 0 \\ k_{w_2 \theta} & 0 & (T_4 p + 1) \end{vmatrix} = \\ &= (T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)(T_4 p + 1) - k_{w_4 w_2} \cdot k_{w_2 w_4} (T_3 p + 1)(T_4 p + 1) = \\ &= (T_3 p + 1)(T_4 p + 1)((T_1 p + 1)(T_2 p + 1) - k_{w_4 w_2} \cdot k_{w_2 w_4}) \end{aligned}$$

Визначники за каналом «керуюча дія» та «збурення»:

$$F_0 = \begin{vmatrix} 0 \\ k_{F_0 w_4} \\ 0 \\ k_{F_0 \theta} \end{vmatrix}, \quad F_c = \begin{vmatrix} k_{F_c w_2} \\ 0 \\ k_{F_c \theta_{c1}} \\ 0 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{F_0} = \begin{vmatrix} 0 & -k_{w_4 w_2} & 0 & 0 \\ k_{F_0 w_4} & (T_2 p + 1) & 0 & 0 \\ 0 & k_{w_4 \theta_{c1}} & (T_3 p + 1) & 0 \\ k_{F_0 \theta} & -k_{w_4 \theta} & 0 & (T_4 p + 1) \end{vmatrix} =$$

$$= k_{w_4 w_2} \begin{vmatrix} k_{F_0 w_4} & 0 & 0 \\ 0 & (T_3 p + 1) & 0 \\ k_{F_0 \theta} & 0 & (T_4 p + 1) \end{vmatrix} = k_{w_4 w_2} \cdot k_{F_0 w_4} (T_3 p + 1) (T_4 p + 1)$$

$$\Delta_{F_c} = \begin{vmatrix} k_{F_c w_2} & -k_{w_4 w_2} & 0 & 0 \\ 0 & (T_2 p + 1) & 0 & 0 \\ k_{F_c \theta} & k_{w_4 \theta_{c1}} & (T_3 p + 1) & 0 \\ 0 & -k_{w_4 \theta} & 0 & (T_4 p + 1) \end{vmatrix} =$$

$$= k_{F_c w_2} \begin{vmatrix} (T_2 p + 1) & 0 & 0 \\ k_{w_4 \theta_{c1}} & (T_3 p + 1) & 0 \\ -k_{w_4 \theta} & 0 & (T_4 p + 1) \end{vmatrix} + k_{w_4 w_2} \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ k_{F_c \theta} & (T_3 p + 1) & 0 \\ 0 & 0 & (T_4 p + 1) \end{vmatrix} =$$

$$= k_{F_c w_2} (T_2 p + 1) (T_3 p + 1) (T_4 p + 1)$$

Складемо визначник системи рівнянь (25):

$$\Delta = \begin{vmatrix} (T_1 p + 1) & -k_{w_4 w_2} & 0 & 0 \\ -k_{w_2 w_4} & (T_2 p + 1) & 0 & 0 \\ -k_{w_2 \theta_{c1}} & k_{w_4 \theta_{c1}} & (T_3 p + 1) & 0 \\ k_{w_2 \theta} & -k_{w_4 \theta} & 0 & (T_4 p + 1) \end{vmatrix} =$$

$$= (T_1 p + 1) \begin{vmatrix} (T_2 p + 1) & 0 & 0 \\ k_{w_4 \theta_{c1}} & (T_3 p + 1) & 0 \\ -k_{w_4 \theta} & 0 & (T_4 p + 1) \end{vmatrix} + k_{w_4 w_2} \begin{vmatrix} -k_{w_2 w_4} & 0 & 0 \\ -k_{w_2 \theta_{c1}} & (T_3 p + 1) & 0 \\ k_{w_2 \theta} & 0 & (T_4 p + 1) \end{vmatrix} =$$

$$= (T_1 p + 1) (T_2 p + 1) (T_3 p + 1) (T_4 p + 1) - k_{w_4 w_2} \cdot k_{w_2 w_4} (T_3 p + 1) (T_4 p + 1) =$$

$$= (T_3 p + 1) (T_4 p + 1) ((T_1 p + 1) (T_2 p + 1) - k_{w_4 w_2} \cdot k_{w_2 w_4})$$

3.8. Передатні функції за каналом керування та збурення

Отже, передатна функція за каналом керування «витрата топкових газів на вході \rightarrow вологість пасти білої сажі на виході» ($F_0 \rightarrow \omega_2$):

$$W_{ker}(p) = \frac{\Delta_{F_0}}{\Delta} = \frac{k_{w_4 w_2} \cdot k_{F_0 w_4}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) - k_{w_4 w_2} \cdot k_{w_2 w_4}}$$

Отже, передатна функція за каналом збурення «витрата пасти білої сажі на вході \rightarrow вологість пасти білої сажі на виході» ($F_c \rightarrow \omega_2$):

$$W_{zb}(p) = \frac{\Delta_{F_c}}{\Delta} = \frac{k_{F_c w_2} (T_2 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) - k_{w_4 w_2} \cdot k_{w_2 w_4}}$$

Числові значення передатної функції за каналом керування:

$$W_{ker}(p) = \frac{-0,081}{2310,671p^2 + 421,56p + 1}$$

Числові значення передатної функції за каналом збурення:

$$W_{zb}(p) = \frac{0,234}{2310,671p^2 + 421,56p + 1}$$

3.9. Перехідні характеристики об'єкта

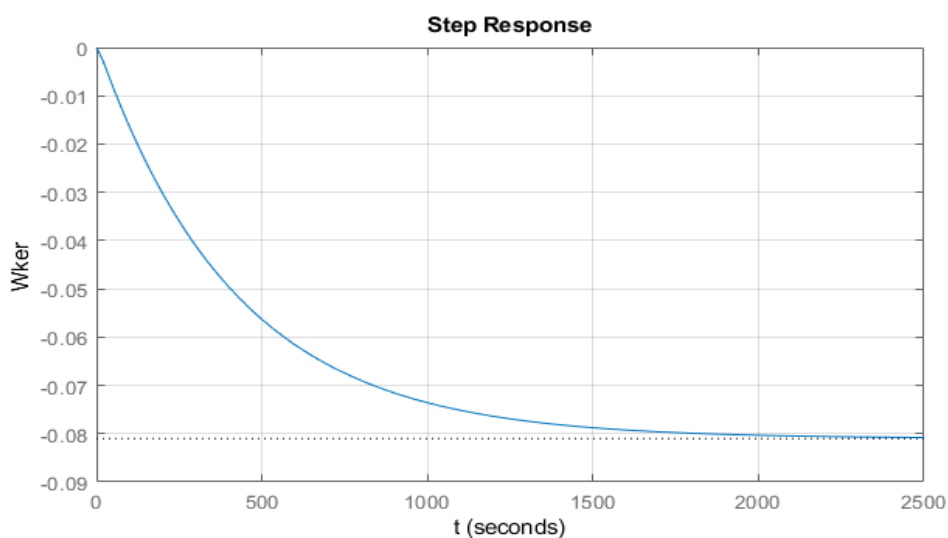


Рис 3.3. Перехідна характеристика ТОК за каналом керування

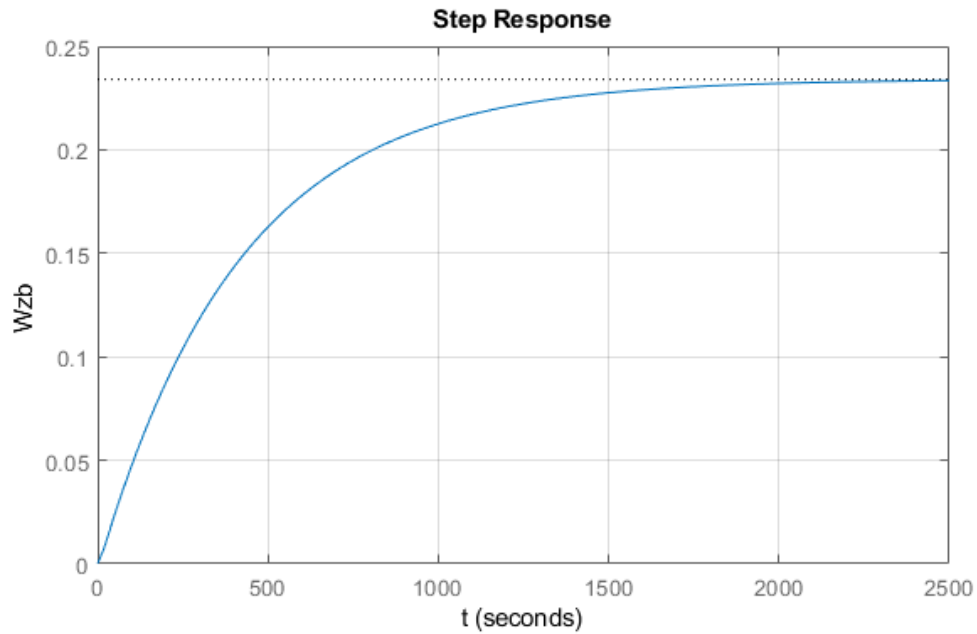


Рис. 3.4. Перехідна характеристика ТОК за каналом збурення

В даному розділі була розроблена математична модель технологічного апарату розпилювача сушарки, що входить до складу лінії виробництва білої сажі. Результатом обчислень є передатні функції за каналами керування та збурення та графіки перехідних характеристик ТОК.

4. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СУШАРКОЮ

Для того щоб отримати стабільний та стійкий процес, що відбувається всередині технологічного об'єкту, необхідно синтезувати систему безпосереднього цього технологічного об'єкту, в нашому випадку це розпилювач сушарки, з регулятором. Така система призначена для автоматичної зміни одного чи кількох контрольованих параметрів об'єкту керування з метою установлення потрібного значення контрольованого параметру.

На рис. 4.1. представлена класична система автоматичного управління.

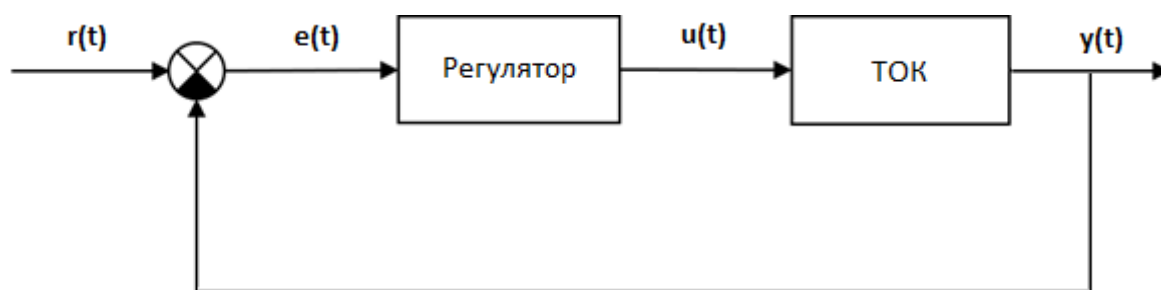


Рис. 4.1. Класична система автоматичного управління

Головним елементом в будь-якій САУ є регулятор, що являє собою пристрій, що слідкує за станом технологічного об'єкту керування і забезпечує необхідне керування по необхідному закону. Процес керування складається з: обрахування помилки управління чи сигналу неузгодженості $e(t)$, як різницю між бажаною уставкою $r(t)$ та поточної величини процесу $y(t)$, після чого регулятор виробляє керуючі сигнали $u(t)$.

Розробимо в середовищі Simulink три окремі системи з П-, ПІ- та ПІД-регуляторами відповідно. Налаштуємо кожен з регуляторів.

4.1. Синтез системи з П-регулятором

Побудуємо спершу систему з П-регулятором. Вона має вигляд:

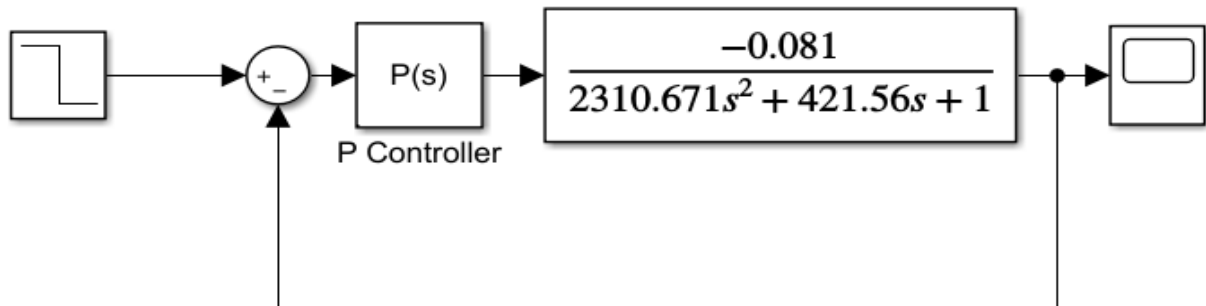


Рис. 4.2. Система з П-регулятором.

Для налаштування регулятора, необхідно натиснути на елемент «P Controller». З'явиться вікно налаштування регулятора, в якому потрібно натиснути на клавішу налаштування «TUNE» (рис. 4.3.)

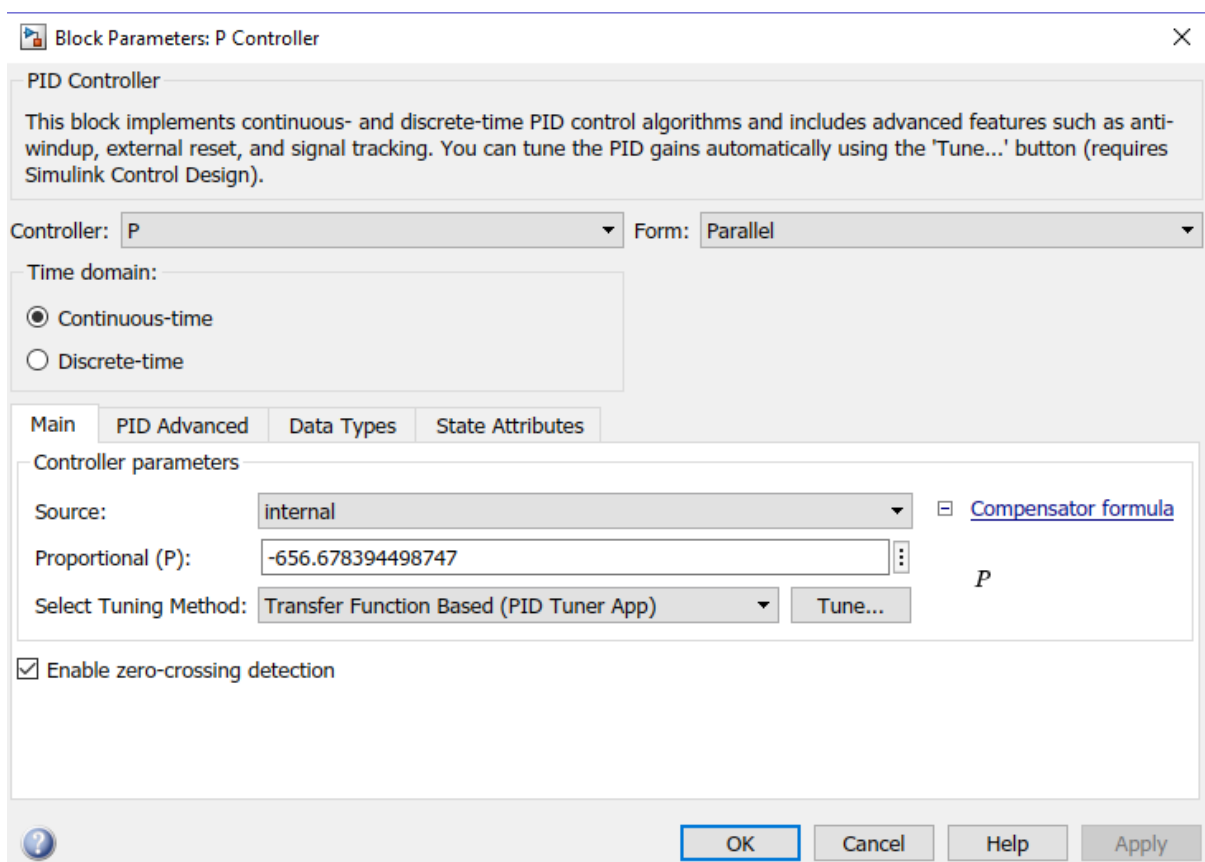
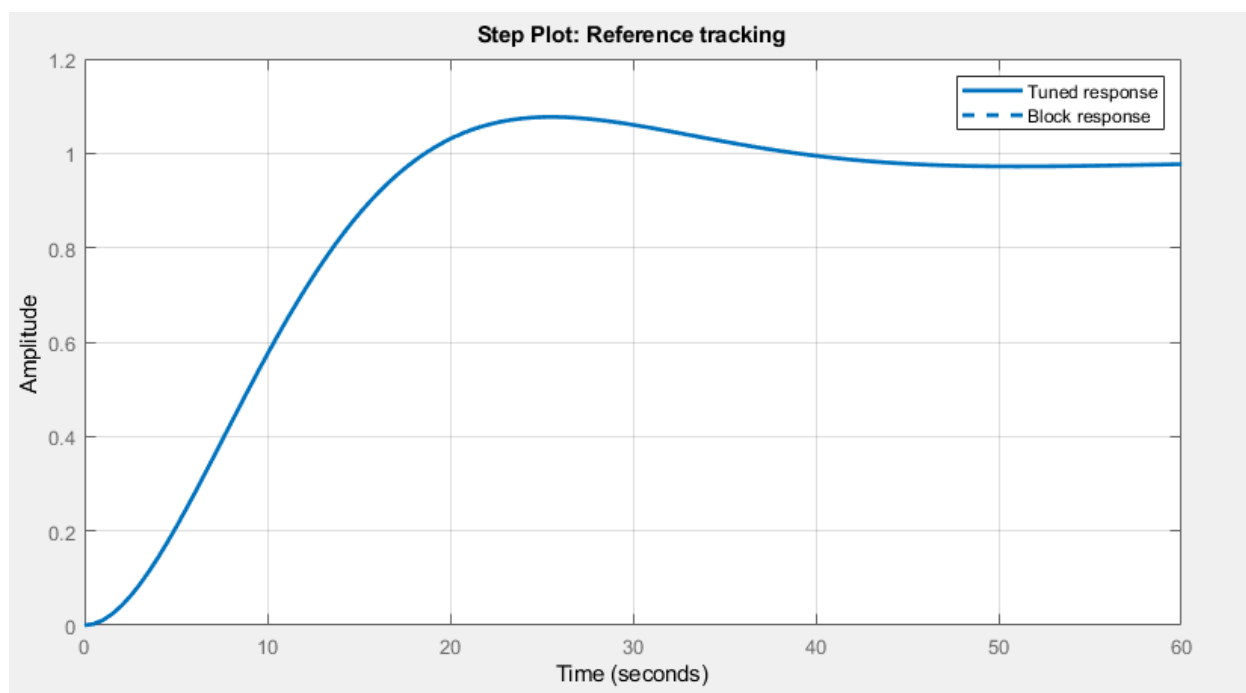


Рис. 4.3. Вікно налаштування П-регулятора.



а)

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	-656.6784	-656.6784
I	n/a	n/a
D	n/a	n/a
N	n/a	n/a
Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	12 seconds	12 seconds
Settling time	38.8 seconds	38.8 seconds
Overshoot	9.73 %	9.73 %
Peak	1.08	1.08
Gain margin	Inf dB @ Inf rad/s	Inf dB @ Inf rad/s
Phase margin	60 deg @ 0.109 rad/s	60 deg @ 0.109 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

б)

Рис. 4.4. Результат обрахунку підпрограми PID Tuning Toolbox для П-регулятора: а) Перехідна характеристика П-регулятора б) виведені коефіцієнти регулятора та критерії якості

Як бачимо, пропорційний коефіцієнт підсилення для П-регулятора дорівнює:

$$k_p = -656.678394498747$$

Запустимо емуляцію системи та отримаємо перехідну характеристику.

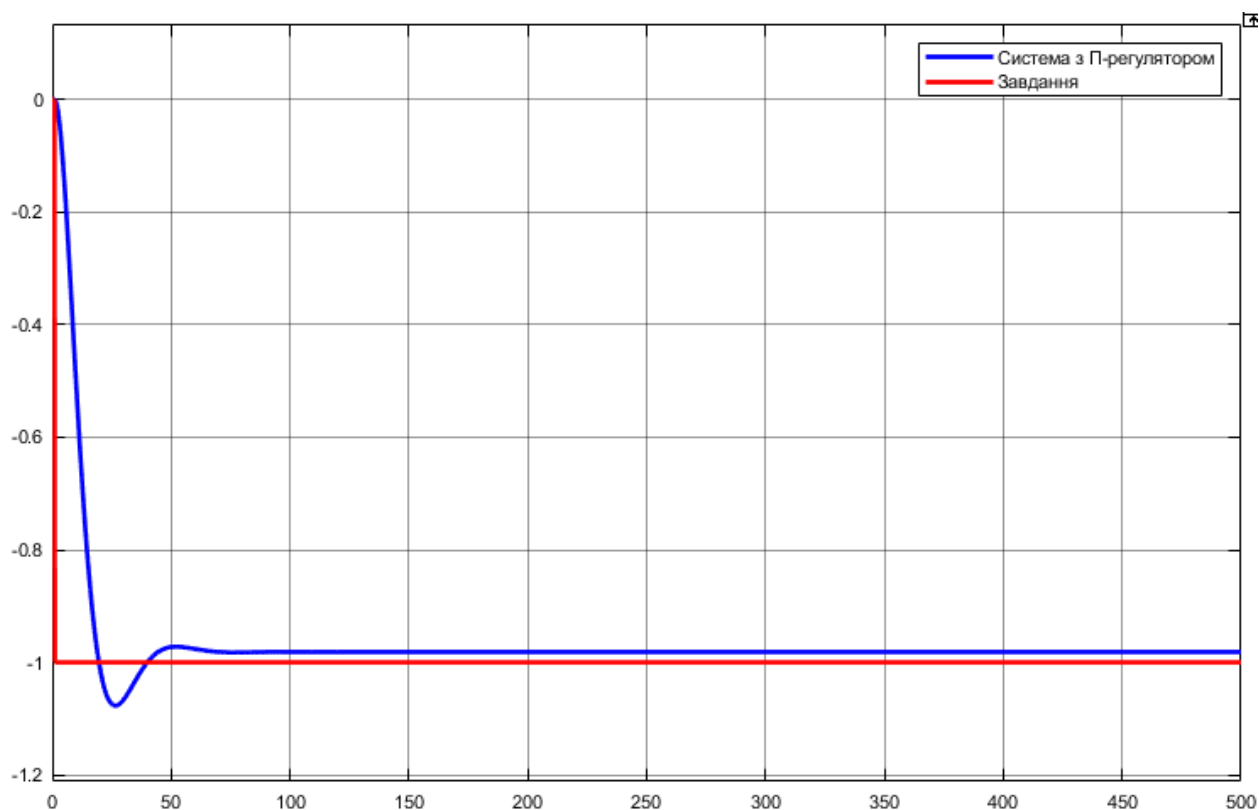


Рис. 4.5. Перехідна характеристика системи з П-регулятором.

Як бачимо, перехідна характеристика системи з П-регулятором, не вийшла на потрібне значення.

Максимальне значення відхилення перерегулювання дорівнює -1,077, що приблизно дорівнює 8%.

5.2. Синтез системи з ПІ-регулятором

Проробимо аналогічні дії для системи з ПІ-регулятором.

На рис. 4.6. побудована система з ПІ-регулятором в середовищі Simulink.

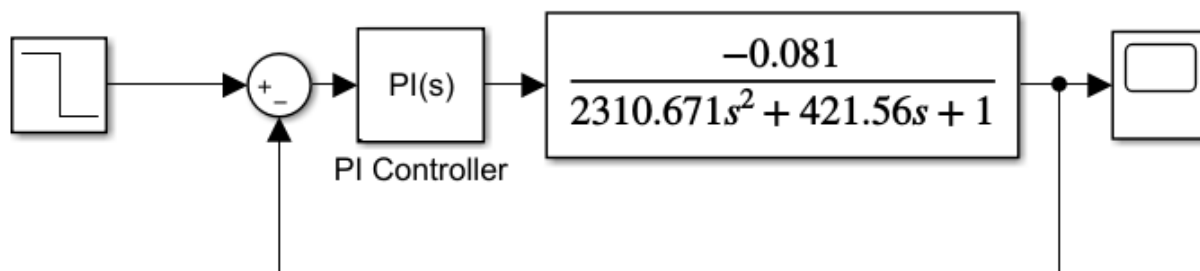


Рис. 4.6. Система з ПІ-регулятором.

Тиснемо на елемент «PI Controller», у вікні підбираємо коефіцієнти для налаштування ПІ-регулятора, натиснувши на кнопку «TUNE».

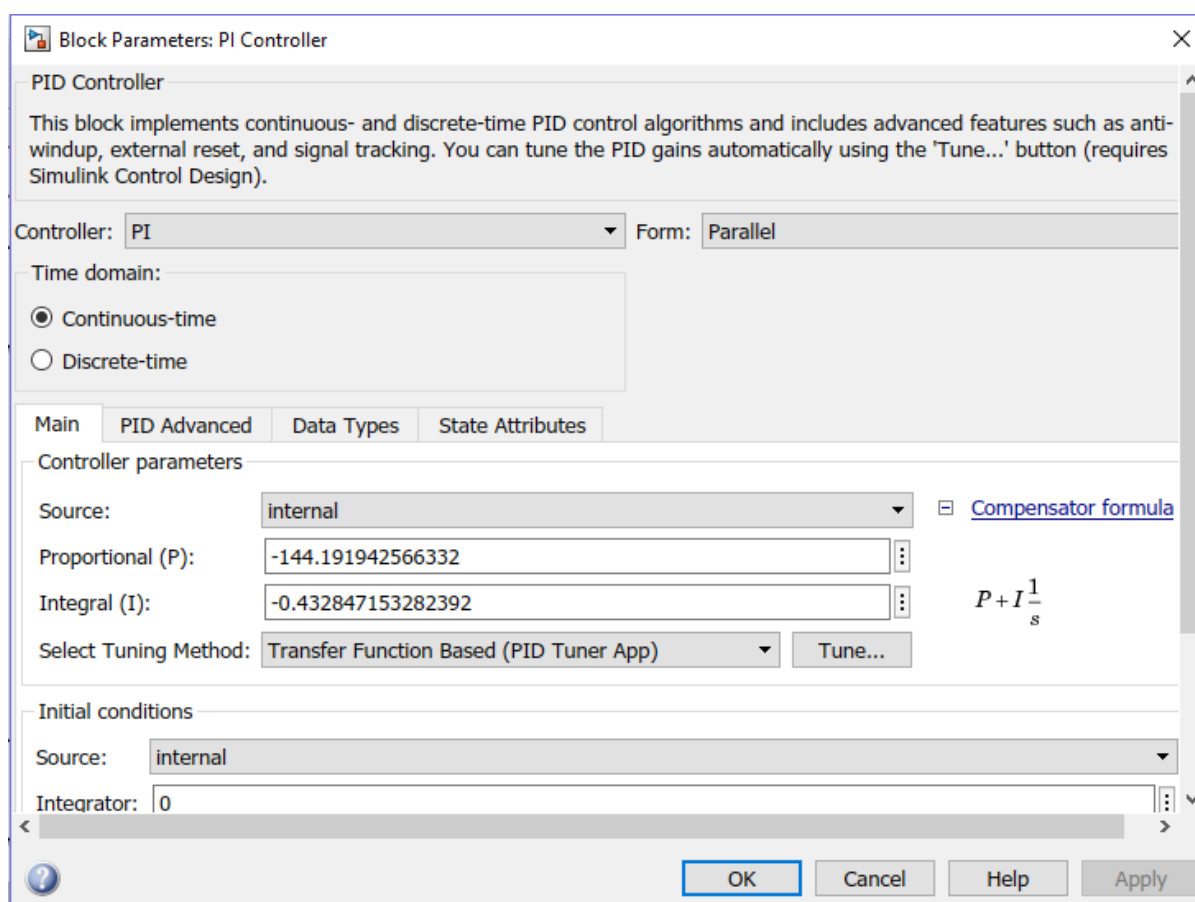
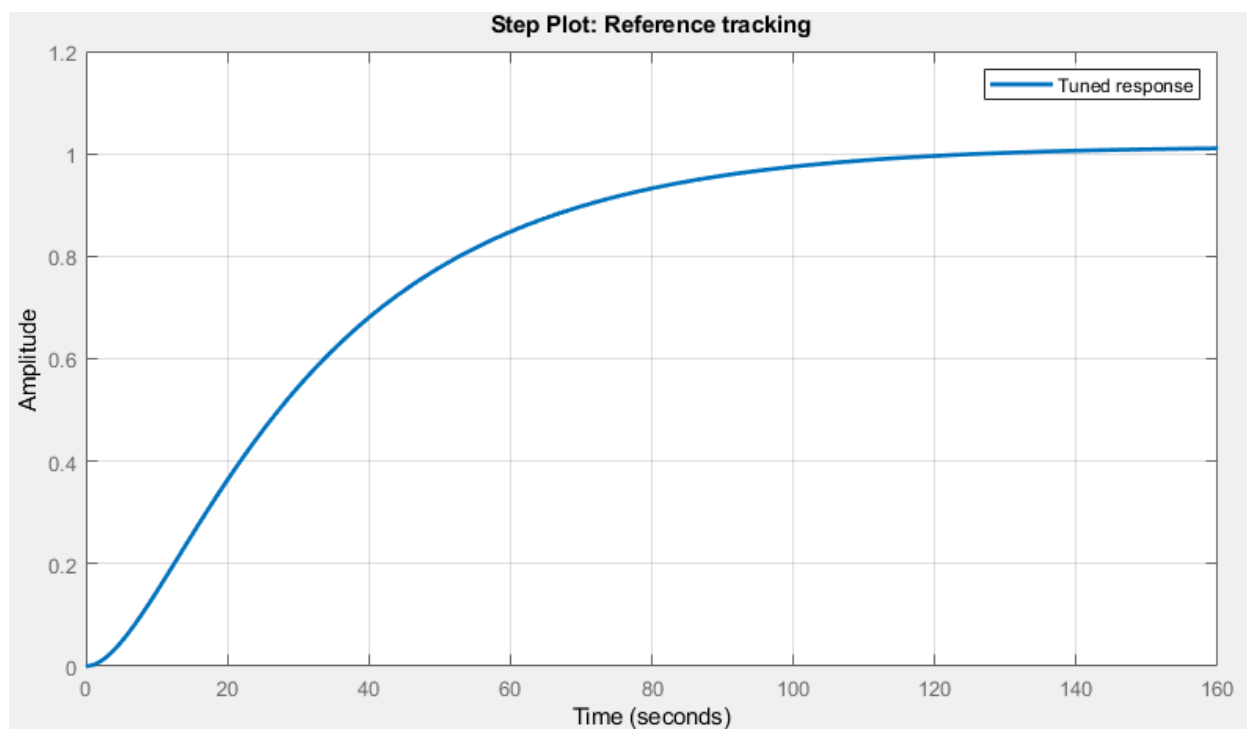


Рис. 4.7. Вікно налаштування ПІ-регулятора.



а)

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	-144.1919	-144.1919
I	-0.43285	-0.43285
D	n/a	n/a
N	n/a	n/a

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	62.8 seconds	62.8 seconds
Settling time	104 seconds	104 seconds
Overshoot	1.31 %	1.31 %
Peak	1.01	1.01
Gain margin	Inf dB @ Inf rad/s	Inf dB @ Inf rad/s
Phase margin	80 deg @ 0.0278 rad/s	80 deg @ 0.0278 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

б)

Рис. 4.8. Результат обрахунку підпрограми PID Tuning Toolbox для ПІ-регулятора: а) Перехідна характеристика ПІ-регулятора б) виведені коефіцієнти регулятора та критерії якості

Отримаємо коефіцієнти пропорційності та інтегрування налаштованого ПІ-регулятора.

$$k_p = -144.191942566332$$

$$k_i = -0.432847153282392$$

Запустимо емуляцію системи та отримаємо перехідну характеристику.

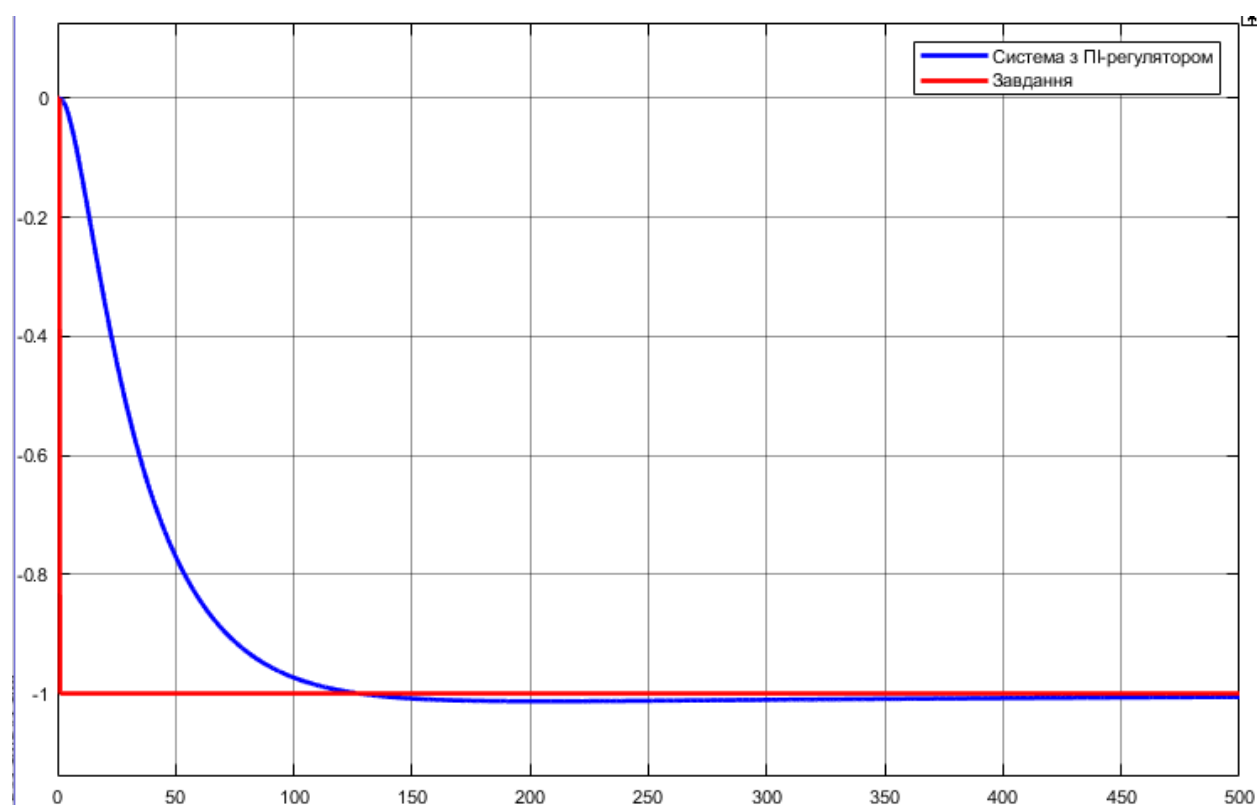


Рис. 4.9. Перехідна характеристика системи з ПІ-регулятором.

Перехідна характеристика системи вийшла на усталене значення, при цьому без різкого перерегулювання. Максимальне значення відхилення перерегулювання дорівнює -1,013, що приблизно дорівнює 1%.

4.3. Синтез системи з ПІД-регулятором

Виконаємо дану послідовність дій і для системи з ПІД-регулятором.

Синтезуємо систему з ПІД-регулятором.

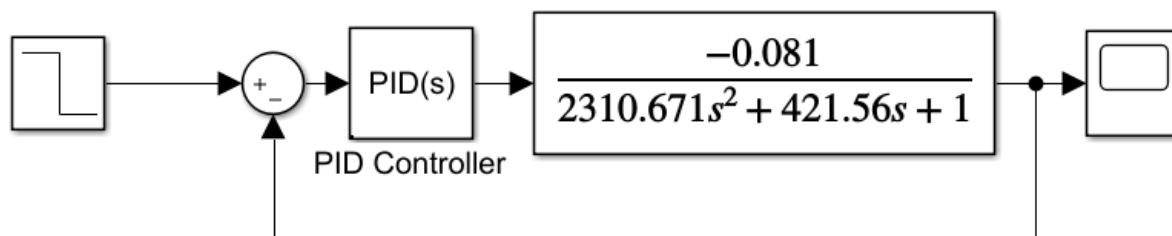


Рис. 4.10. Система з ПІД-регулятором.

Аналогічно, натиснувши на елемент в системі «PID Controller», відкриється вікно налаштування ПІД-регулятора. Кнопкою «TUNE» отримаємо коефіцієнти.

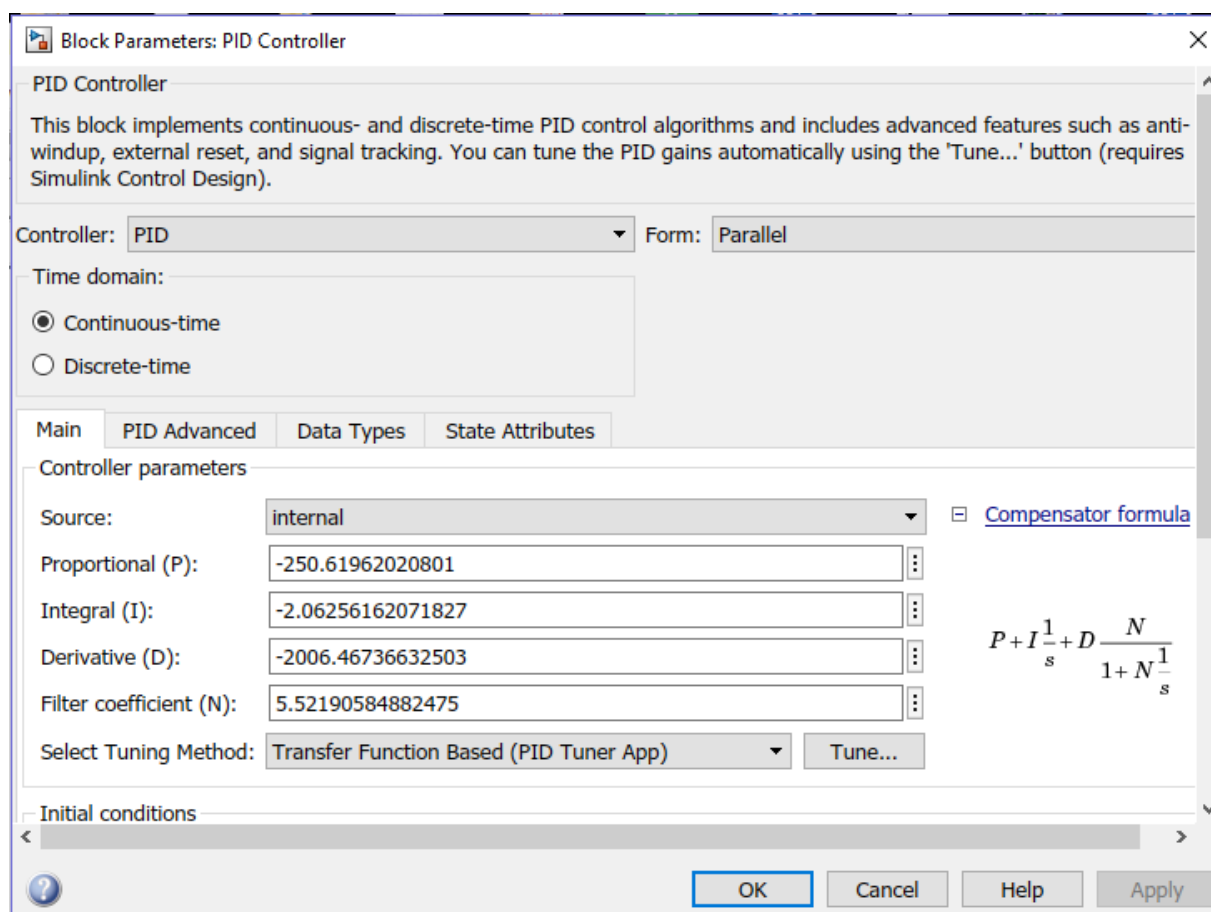
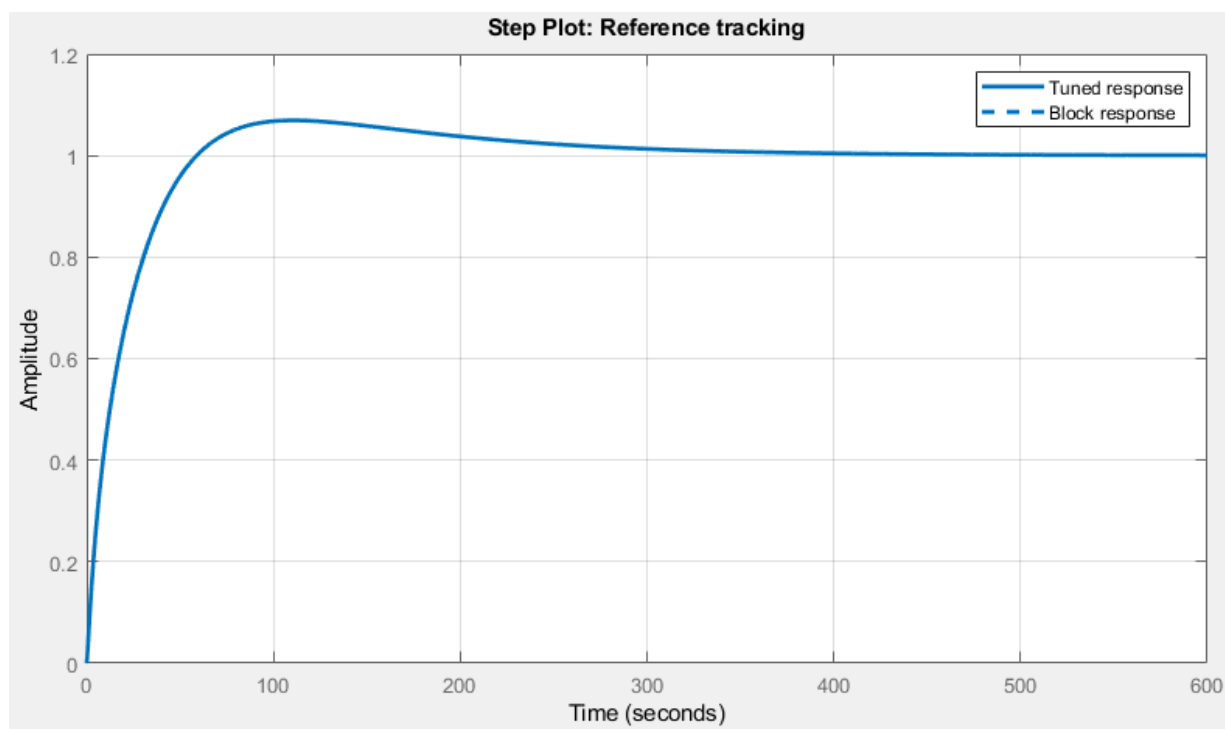


Рис. 4.11. Вікно налаштування ПІД-регулятора.



а)

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	-250.6196	-250.6196
I	-2.0626	-2.0626
D	-2006.4674	-2006.4674
N	5.5219	5.5219

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	39.2 seconds	39.2 seconds
Settling time	261 seconds	261 seconds
Overshoot	6.93 %	6.93 %
Peak	1.07	1.07
Gain margin	Inf dB @ Inf rad/s	Inf dB @ Inf rad/s
Phase margin	90 deg @ 0.0483 rad/s	90 deg @ 0.0483 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

б)

Рис. 4.12. Результат обрахунку підпрограми PID Tuning Toolbox для ПІД-регулятора: а) Перехідна характеристика ПІД-регулятора б) виведені коефіцієнти регулятора та критерії якості

Результатом налаштування будуть пропорційний, інтегральний та диференціальний коефіцієнти підсилення. Інтегральна складова в ПІД-регуляторі забезпечує нульову помилку у сталому режимі, а диференціальна – поліпшує форму перехідної характеристики та підвищує запас стійкості.

$$k_p = -250.61962020801$$

$$k_i = -2.06256162071827$$

$$k_d = -2006.46736632503$$

Проемулюємо систему з даними налаштуваннями ПІД-регулятора.

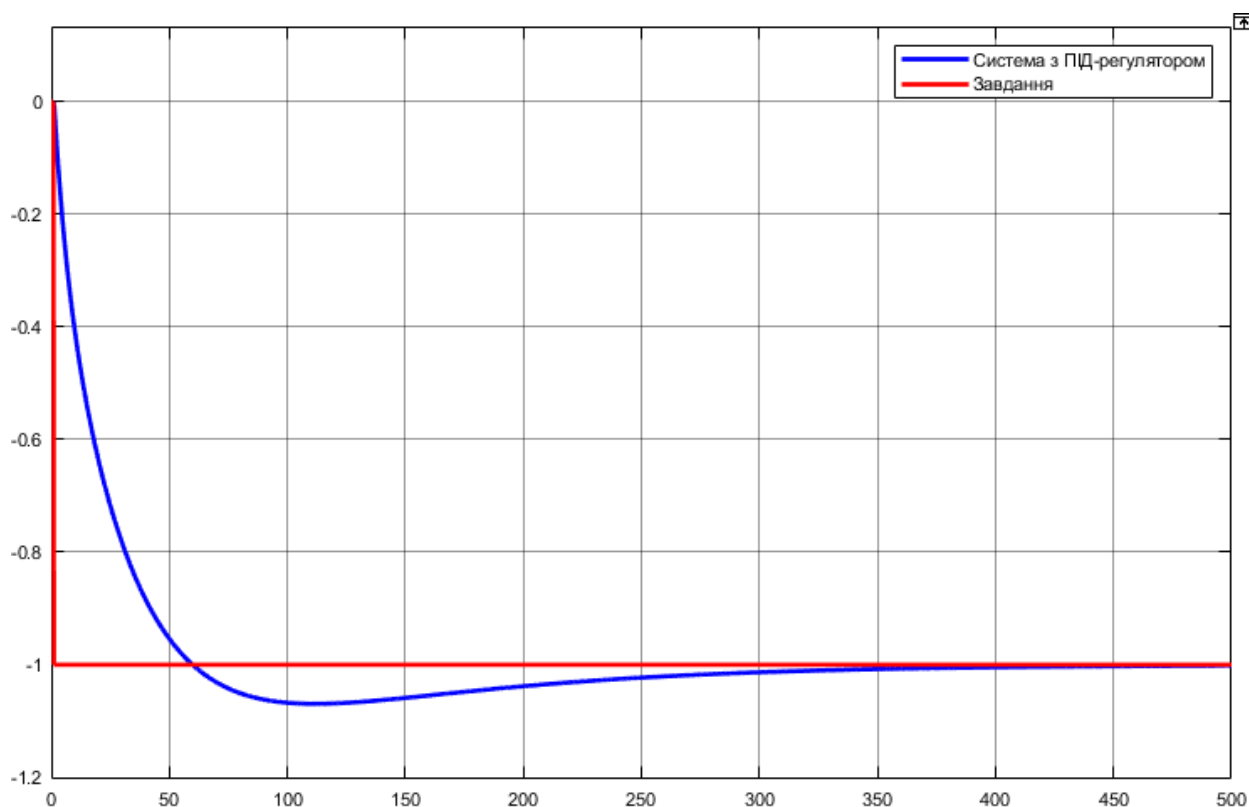


Рис. 4.13. Перехідна характеристика системи з ПІ-регулятором.

Бачимо, що перехідна характеристика системи вийшла на усталене значення, але з більшим перерегулювання, ніж в ПІ-регуляторі. Максимальне значення відхилення перерегулювання дорівнює -1,069, що приблизно дорівнює 7%.

4.4. Порівняння синтезованих систем автоматичного управління

Якість управління при налаштуванні коефіцієнтів регулятора є важливим завданням для процесу будь-якого апарату.

Для вибору критерію якості управління та регулювання, необхідно точно сформулювати мету, яку буде виконувати регулятор. Метою може являтися:

- підтримання параметра на певному постійному значенні (наприклад, вологість);
- стеження за зміною значення вибраного параметру або програмне управління;

Також варто звертати увагу на чинники, що мають місце у тій чи іншій задачі:

- відгук системи на зовнішнє збурення (час виходу на усталене значення, перерегулювання, коефіцієнт загасання та ін.);
- відгук системи на шуми вимірювань;
- відгук системи на сигнал значення вибраного параметру;
- вимоги до енергоекономії в керованій системі та інші.

Для порівняння якості систем керування в даному дипломному проекті будуть використані такі критерії якості в часовій області:

- e_{\max} – максимум значення помилки перерегулювання в момент часу T_{\max} , в якому помилка має це найбільше значення;
- час встановлення T_s з заданою похибкою e_s (тобто, це час, після закінчення якого, похибка регулювання не має перевищувати попередньо заданого значення). Зазвичай вона дорівнює 1%, рідше - 2%, 5%.
- перерегулювання

Точність роботи у перехідному режимі визначається сукупністю окремих взятих значень помилки $\delta(t)$ в кожен момент часу. З ціллю стандартизувати показники якості, у цьому випадку використовуватимемо

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перехідні характеристики за каналом завдання $h_y(t)$ при подаванні на відповідні входи типових сигналів виглядом $1(t)$, котрі у загальному вигляді охарактеризовують значення помилки $\delta(t)$.

Відповідно до способу визначення, показники якості розділяють на прямі і непрямі.

Загалом, для загального оцінювання якості, перш за все, беруть до уваги форму перехідного процесу. Перехідні процеси поділяють на наступні типи:

- монотонні;
- коливальні;
- аперіодичні.

До головних показників характеристики $h(t)$ належать перерегулювання σ і час регулювання t_p .

Для визначення перерегулювання σ , знаходять максимальне відхилення керованої величини від її сталого значення $h(\infty)$, яке виражається в % до $h(\infty)$:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h(\infty)}{h(\infty)} 100\%$$

Час регулювання t_p – це час, після завершення якого відхилення характеристики $h(t)$ від сталого значення $h(\infty)$ установлюється менше зони нечутливості системи $\delta = (0.01 \div 0.05)h(\infty)$. Даний показник характеризує швидкість плину перехідного процесу.

На рис. 4.14. зображено, як визначати критерії якості регулювання в часовій області.

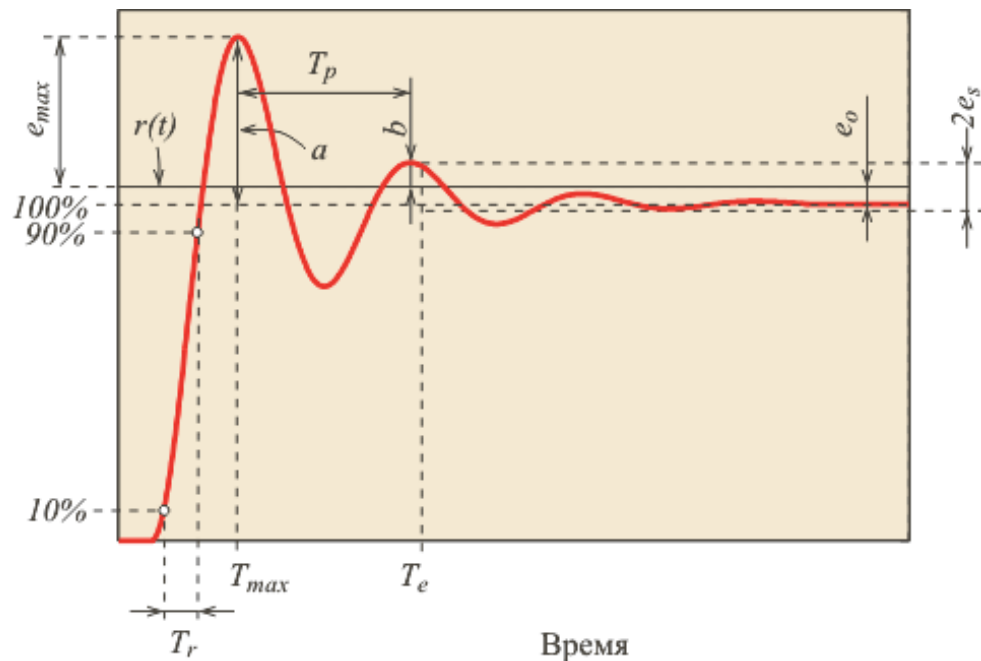


Рис. 4.14. Критерії якості регулювання в часовій області

Для того, щоб одержати кількісні характеристики якості керування необхідно скористатися інтегральним показником:

$$I = \int_0^{\infty} \varepsilon^2 dt$$

де ε – помилка між заданим та поточним значенням регульованої величини. Для того, щоб розрахувати показник, дані, а саме - масив значень часу, і масиви значень по ординаті перехідних характеристик, що були взяті за допомогою компонента «Scope», (рис. 4.15.) були передані в робочу простір «Workspace» середовища *Matlab* з подальшим числовим обробленням. Беручи до уваги дискретний вид даних, показник можна замінити наступною формулою:

$$I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (-1 - y_i)^2,$$

де N – кількість виміряних значень, y_i – значення величини в i -й точці у поточному кроці.

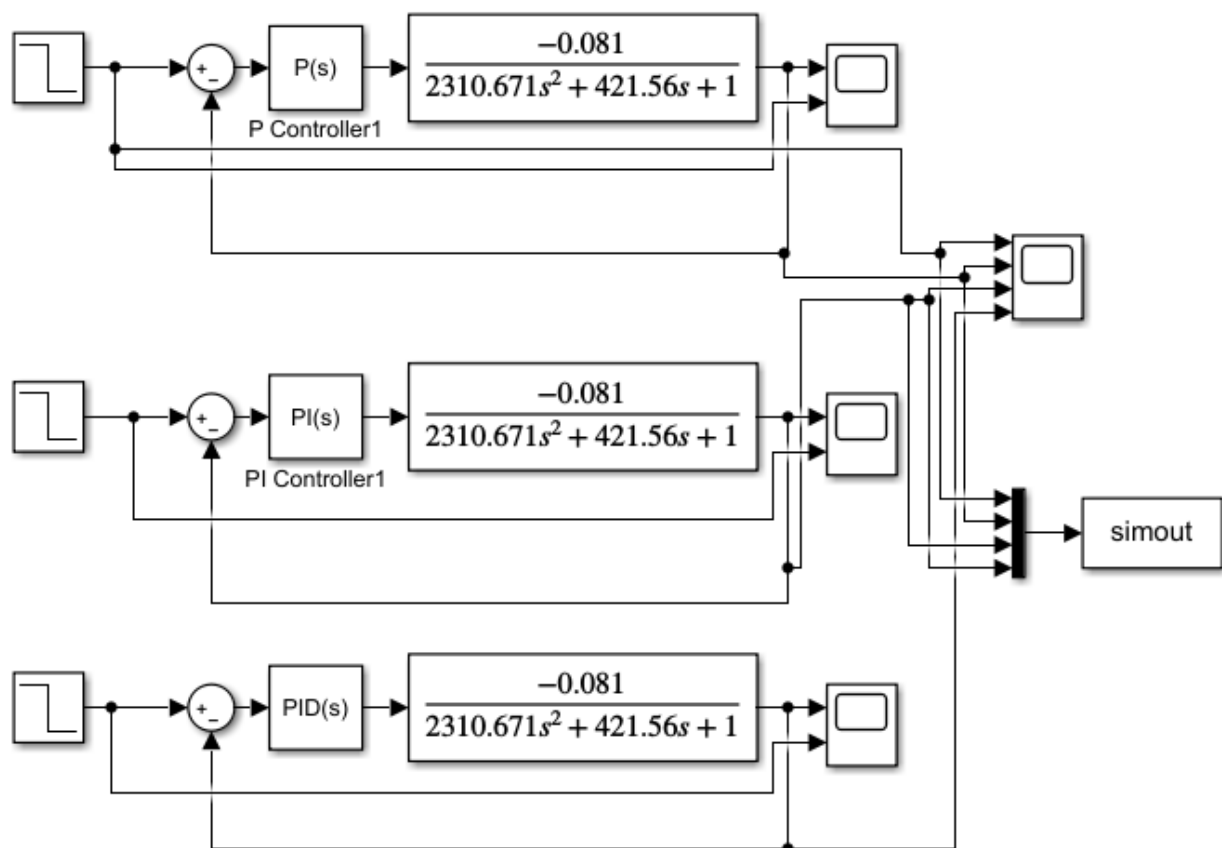


Рис. 4.15. Побудова систем з виведенням перехідних характеристик на один графік

Виведемо графіки перехідних характеристик всіх трьох систем на один графік (рис. 4.16.).

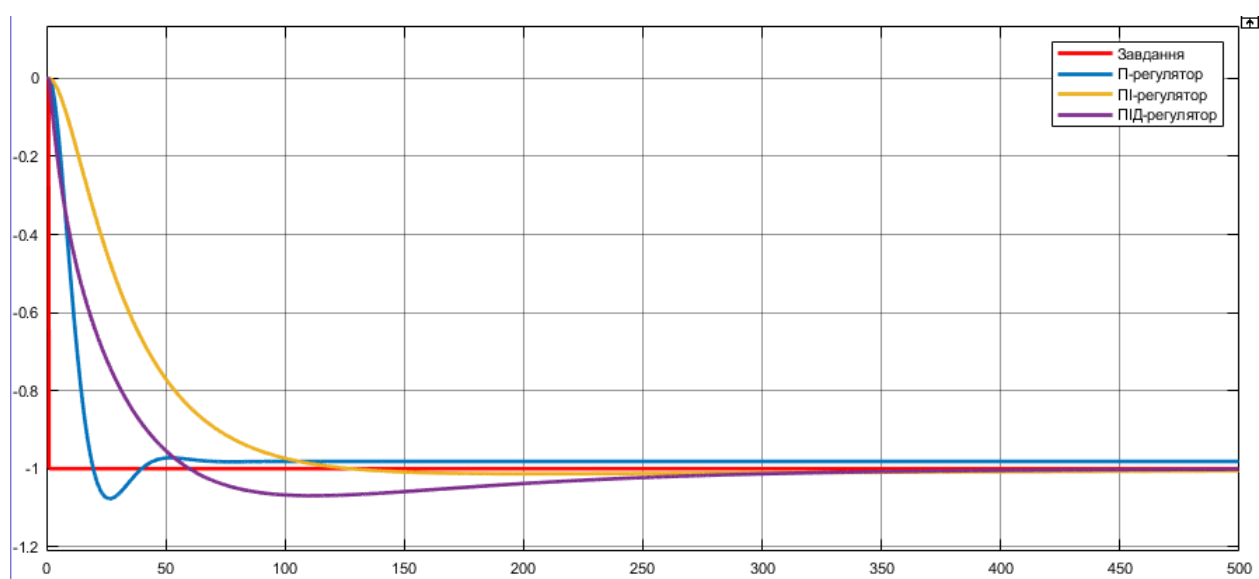


Рис. 4.16. Порівняльні перехідні характеристики САУ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5117.00.000.ПЗ

Арк.

61

Отримавши та проаналізувавши дані з графіків перехідних процесів можна визначити необхідні критерії якості для САУ з П-, ПІ- та ПІД-регулятором.

Таблиця 4.1. Критерії якості керування

Критерій	Значення П-регулятора	Значення ПІ-регулятора	Значення ПІД-регулятора
Перерегулювання	9,73 %	1,31 %	6,93 %
e_{\max}	1,08	1,01	1,07
T_{\max}	25,7 с	205 с	111 с
Час встановлення T_s	38,8 с	104 с	261 с
Середньоквадратичне відхилення	0,013779004	0,040819662	0,040819662

В результаті, можна зробити наступні висновки. Згідно моделювання, очевидно, що система з П-регулятором, відпрацьовує найшвидше, але не виходить на потрібне усталене значення. Це неприпустимо для промислових процесів. Система з ПІД-регулятором відпрацювала найдовше, але мала одне з найбільших значень перерегулювання. Найкращим для нашої системи виявився ПІ-регулятор. Він показав найменше значення перерегулювання – всього близько 1%.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Чинне законодавство України, згідно до закону «Про охорону праці», реалізує основні положення конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності на підприємстві, встановлює за участю компетентних органів взаємовідносини між власником підприємства, установи чи організації і працівником, зобов'язує підприємство забезпечити безпечними та нешкідливими умови праці працюючий персонал та брати на себе відповідальність у випадку отримання працівником шкоди, заподіяну їх здоров'ю та працездатності. Забезпечення безпеки праці реалізується як при проектуванні технологічних процесів, так і при їх впровадженні.

Здійснивши заходи з охорони праці, котрі несуть в собі значно менші затрати на їх, в порівнянні з витратами на будівництво всього об'єкту, дозволяють його надійно захистити, його працівників, а також підвищують експлуатаційні показники при зменшенні шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Для подальшого вдосконалення умов праці необхідно покращити якість контролю виконанням вимог діючих норм стандартів, правил, інструкцій та інших документів з техніки безпеки, що підлягають виконанню в процесі проектування.

Відповідно до теми дипломного проекту «Автоматизація процесу виробництва білої сажі» в даному випадку розглядається виробництво білої сажі. Це виробництво позиціонується, як максимально автоматизоване, що в свою чергу дозволяє знизити кількість працюючих робітників безпосередньо в цеху ($S = 9600 \text{ м}^2$, $V = 96000 \text{ м}^3$), що, в свою чергу, знижує робочий травматизм. Автоматичні системи сигналізації та блокувань дозволяють вчасно та з найменшими втратами передбачати неполадки і запобігати аварійним ситуаціям, аваріям.

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контроль параметрів технологічного процесу здійснює оператор, пульт якого знаходиться у виробничому приміщенні площею $S = 40 \text{ м}^2$ та об'ємом $V = 120 \text{ м}^3$.

Основними шкідливими і небезпечними виробничими факторами при роботі і обслуговуванні обладнання являються:

- ураження електричним струмом;
- повітря робочої зони;
- виробниче освітлення;
- виробничий шум і вібрації;

Безпека під час роботи з розпилювачем сушарки:

Перед початком роботи необхідно перевірити:

- робоче місце, яке утримується в чистоті та порядку;
- справність обладнання та його механізмів;
- наявність та справність огорожень;
- справність електрообладнання, відсутність пошкоджених зовнішніх проводів;
- наявність та справність заземлення обладнання;
- справність витяжної вентиляції, підключеної до установки;
- справну роботу аварійної кнопки, "СТОП" та блокувальних пристроїв.

5.1. Електробезпека

1. Устаткування, що розробляється в дипломному проєкті буде знаходитись в сухому приміщенні з нормальною температурою і вологістю повітря.

2. Приміщення операторської з точки зору безпеки враження людини електричним струмом у відповідності з ПУЕ-76 відноситься до класу 1 (без підвищеної небезпеки). Умови, що визначають клас даного приміщення - це наявність струмопровідних підлог, перекриттів, наявність електродвигунів.

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. На пульті управління оператора напруга $U = 220/380$ В, частота $f = 50$ Гц. Режим нейтралі – глухо-заземлений.

Встановлена потужність електродвигунів $K = 20$ кВт.

4. Можливі причини ураження людей електричним струмом:

- коротке замикання;
- відсутність або старіння ізоляції;
- неузгодженні включення/відключення обладнання;
- порушення наряду-допуску до ремонту електромереж.

5. Для забезпечення електробезпечності передбачені організаційні і технічні заходи:

- інструктаж і навчання безпечним методам праці;
- встановлення блокування безпеки та огорожі;
- встановлення плакатів і знаків безпеки;
- недоступність елементів установки, що знаходяться під напругою (кабелі вкладаємо в полівінілхлоридові труби, піддати захисту: недоступність кабелів на висоті $h_{\min} = 2,7-3$ м, застосування огорожувальних пристроїв);

- ізоляція струмопровідних частин пульта керування ($R \geq 0,5$ МОм).

Електрична ізоляція – це шар діелектрика або конструкція, виконана з діелектрика, яким покриваються струмопровідні елементи або відділяються від інших конструктивних частин;

- електророзділення мережі за допомогою спеціальних розділяючих трансформаторів;

- рубильники включення замкнені в спеціальних шафах, різні кольори пускового та робочого обладнання. Кольори показані в таблиці 6.1;

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1. Кольори маркування та розміщення шин у електроустановках

Шина	Колір маркування шин	Розміщення шин		
		При розміщенні ошиновки		У відгалудженнях
		Вертикальному	Горизонтальному, під кутом, в трикутник	
Фаза А	Жовтий	Верхня	Найбільш віддалена	Ліва
Фаза В	Зелений	Середня	Середня	Середня
Фаза С	Червоний	Нижня	Ближня	Права
Нульова робоча	Блакитний	-	-	-
Нульова захисна	Продольні жовті та зелені полоси	-	-	-

Під час роботи лінії забороняється виконувати ремонт, наладку та змащування частин, що рухаються, доторкатись до гарячих та рухомих частин, працювати при відкритих щитках та огородженнях;

В випадку якої-небудь небезпеки або поміченої несправності необхідно негайно зупинити установку натисканням аварійної кнопки “СТОП” та повідомити про це майстра.

В аварійному режимі використовується пристрій занулення і захисне автоматичне відключення, відповідно до ГОСТ 12.1.030-81/91.

Струм короткого замикання забезпечує спрацювання захисту:

$$I_3 = U_{\phi}/(R_0+Z_0)=220/0.3=733 \text{ A};$$

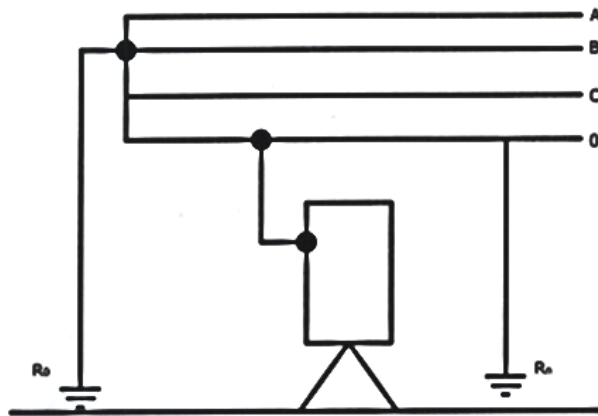


Рис. 5.1. Схема занулення електроустановки у трьохфазній мережі

5.2. Виробниче освітлення

Виробництво, що розглядається потребує зорової уваги. В операторній використовуються лампи денного світла. В приборах використовується підсвітлення шкали.

В цеху використовується змішаний тип освітлення (природне освітлення доповнюється штучним). Проектом передбачене робоче, евакуаційне, аварійне і ремонтне освітлення. Тип джерела світла для системи загального освітлення – лампа ДРЛ-400, напруга мережі 220 В, потік $\Phi = 3200$ лм, кількістю 40 шт. так як висота цеху більше 10 метрів і доцільно використовувати цей тип лампи. Ступінь захисту лампи для зони П-1-IP5X. Передбачається штучне освітлення у всіх приміщеннях і на всіх площадках установки, нормована освітленість повинна становити: комбінованого освітлення - , загального освітлення - , фактична становить , що відповідає вимогам ДБН В 2.5.28 – 2006.

Напрацювання – до 25000 годин.

Вибираємо потрібне нормоване освітлення для комбінованого і загального штучного освітлення приміщення цеху. Розглянемо зорову роботу в даному виробництві відповідно до норм штучного та природного освітлення виробничих приміщень. Характеристика зорової роботи - малої точності, так як відбувається періодичне спостереження за ходом технологічного процесу.

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Вона належить до 5-го розряду зорової роботи. Передбачено бокове природне освітлення. Нормування значень коефіцієнта природної освітленості 0.8%.

5.3. Шум і вібрація

Джерелами шуму та вібрації в даному виробництві виступають апаратні установки, електродвигуни насосів з перекачки різних видів суспензій, кислоти, води та інших речовин по трубопроводах та електродвигуни компресорів. Шум класифікується як постійний. Джерело шуму – електродвигуни насосів та установок. Рівень шуму – $L = 80-95$ дБА, що не відповідає вимогам.

Оператор, що здійснює спостереження за технологічним процесом, знаходиться в операторній, в цьому приміщенні необхідно забезпечити рівень шуму згідно регламенту. Для зменшення виробничого шуму передбачено проведення наступних заходів:

- операторська повинна бути виконана цегляною кладкою, оштукатуреною з обох сторін
- встановлення екранів, за допомогою футеровки корпусів двигунів і насосів
- своєчасне змащування всіх поверхонь, що труться
- своєчасний ремонт всіх механічних вузлів за регламентом

Фактичний рівень шуму – $L = 60$ дБА, що відповідає вимогам згідно з ДСН 3.3.6.037-99.

Персонал необхідно забезпечити індивідуальними засобами захисту – протишумові навушники ПШН – Б та протишумові вкладиші «Беруши СТ– 1».

Технологічний об'єкт керування витримує рівень вібрації з частотою до 25 Гц та з амплітудою не більш ніж 0.1 мм.

Вібрації виникають внаслідок неточності установки обертаючих частин, нецільного з'єднання корпусів обертаючих частин до фундаменту.

Заходи проти вібрацій:

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- обладнання лінії встановлено на фундаменти, маса яких набагато перевищує масу встановленого обладнання;

- використання гумових прокладок в якості амортизаторів;

- проектування додаткових ребер жорсткості.

Рівень технологічної вібрації у приміщенні не перевищує 90 дБ при частоті 4 Гц, що відповідає ДСН 3.3.6.039 – 99.

Для захисту рук від впливу загальної вібрації передбачене взуття на товстій гумовій підшві, відповідно до ГОСТ 12.4.002-74.

Для контролю рівня шуму і вібрації передбачений прилад ВШВ-003 і шумо-віброзамірний комплекс ШВК-1.

Сумарний час роботи в контакті з вібрацією не перевищує 2/3 робочої зміни. Тривалість неперервної дії вібрації не перевищує 15 – 20 хв. При такому режимі обідня перерва не менше 40 хвилин.

5.4. Повітря робочої зони

Згідно з ГОСТ фізичні параметри умов в операторній мають відповідати нормам:

- температура, фактична допустима – 20...23°C;
- відносна вологість – 40...62%;
- швидкість руху повітря – ≤ 0.2 , м/с;
- холодний час року, нагрівши помешкання батареями з теплоносієм

водою, нагрітою до температури 50...60°C;

- у теплий час року вентиляцією.

У виробництві білої сажі в цехах не використовуються токсичні сировина та матеріали. Проте, на етапах просушування та фільтрування паста білої сажі починає набувати порошкоподібну форму. При русі порошку білої сажі з однієї технологічної установки в іншу та безпосередньо в самих

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

апаратах, гранули мають здатність підніматися у повітря, таким чином забруднюючи його.

Для безпечного перебування персоналу у цеху, необхідно забезпечити герметичність технологічних установок та конвеєрних ліній.

Гранично допустима концентрація діоксиду кремнію у повітрі виробничої зони дорівнює 1 мг/м^3 , клас небезпеки – 3. Необхідно дотримуватися ГОСТу 12.1.005-88/98, для того, щоб підтримувати чисте повітря у робочій зоні. Якщо концентрація більша за гранично допустиму, то у працівників уможлиблюється виникнення різних захворювань органів дихання, наприклад силікоз.

Силікоз — це захворювання людини, яке спричинює пил, який містить в собі вільний діоксид силіцію, при тривалому його вдиханні. Силікоз відносять до професійних захворювань, є незворотним і невиліковним захворюванням, що може призвести до розвитку раку легенів.

Контроль за вмістом у повітрі робочої зони шкідливих речовин здійснює лабораторія охорони праці й навколишнього середовища. Періодичність перевірок - два рази на місяць. Для вимірювання вмісту діоксиду кремнію використовують фотоколориметри.

Також, щоб убезпечити персонал від потенційних ушкоджень організму, необхідне проведення місцевої лінії витяжної вентиляції у зонах пилевиділення, використання захисної спецуніформи, регулярне її очищення та періодичне прибирання зон з надмірним пилевиділення. Для цього рекомендується використовувати вакуумні пилососи.

Місце роботи оператора обладнано замкнутою системою вентиляції і кондиціонування, для яких використовуються осьові вентилятори Ц4-70.

Технічні засоби, що забезпечують безпеку органів дихання: респіратор газопилозахисний «Клен - ГП», та респіратор ШБ – 1 «Лепесток – 200».

Умови повітря робочої зони забезпечуються завдяки вище перерахованим технічним заходам, що відповідає ДСН 3.3.6.042-99.

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Даний дипломний проект був написаний на тему «Автоматизація процесу виробництва білої сажі». Відповідно, було розглянуто та проаналізовано процес виробництва білої сажі. Також, була запропонована функціональна схема автоматизація.

У якості технологічного об'єкту керування, була взята розпилювальна сушарка, в результаті, для якої була обрахована її математична модель. У середовищі Simulink було проведене дослідження на виявлення найбільш підходящого регулятора, який забезпечить найкраще керування даної системи автоматичного управління.

Даний проект містить в собі також розділ з детальним описом того, як на даному виробництві забезпечити охорону праці робітників.

У ході розробки даного дипломного проекту, було використано наступне програмне забезпечення: Microsoft Office та Microsoft Visio, MatLab, включаючи підпрограми Simulink та PIDtool.

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ПОСИЛАНЬ НА ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 58 с. : іл. – Біблігр.: с. 58-60. – 200 пр.
2. Вольфович С.І., Єгоров А.П., Руденко Ю.П. Загальна хімічна технологія [Текст] / Державне науково-технічне видання хімічної літератури, 1989 – 758с.
3. Веб-сторінка Аналітичного порталу про хімічну промисловість (Електронний ресурс). URL:
http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=5687&cat_id=5&page_id=1
4. ГОСТ 18307-78, ИПК Издательство Стандартов, 1998, с 1-19.
5. Веб-сторінка ТОВ «Башкирська содова компанія» (Електронний ресурс), URL:
<http://www.td-bkh.ru/products/137>
6. Основные процессы и аппараты химической технологии: Касаткин А.Г. - Москва, 1988. - 512с;
7. Чернобыльский И.И., Машины и аппараты химических производств / Издательство Машиностроение 1975., с 259
8. Долинский А.А., Малецкая К.Д, Распылительная сушка / Теплотехнологии и оборудование для получения порошковых материалов. ТОМ 1 – 2, Київ, 2015.
9. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. – М.: Машиностроение, 1978.- 736 с
10. Метрологія та технологічні вимірювання в хімічній промисловості / Й. І. Стенцель, В. В. Тіщук. - Луганськ : Східноукраїнський держ. ун-т, Сєвєродонецький технологічний ін-т, 2000. Ч.1. - 263 с. ISBN 966-590-229-6

					ДП 5117.00.000.ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Специфікація приладів та технічних засобів автоматизації

Вимірювання тиску

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення па-ра	Місце монтажу	Назва та характеристика	Тип моделі	К-сть	Завод виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
16-1	Тиск	Вакуум-фільтр, паста білої сажі	—	Корпус вакуум-фільтру	Інтелектуальний датчик надлишкового тиску, границя вимірювання 0...3500 кПа, точність виміру до 0,05% діапазону виміру	IGP60	4	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
20-1								
24-1								
28-1								
16-2	Тиск	-	-	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний пристрій, точність виміру до 0,05%, вх сигнал 4...20 мА	6100AF	4	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
20-2								
24-2								
28-2								

					ДП 5117.00.000.Сп			
					Специфікація технічних засобів автоматизації на схему автоматизації процесу виробництва	Лім.	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Осіпенко В.С.						
Перев.		Бородін В.І.						
					Автоматизація процесу виробництва білої сажі	Арк. 73		Аркушів 12
Н. контр.						НТУУ „КПІ ім. Сікорського” ІХФ ЛА-51		
Затв.		Бородін В.І.						

Вимірювання температури

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3-1	Температура	Трубопровід, розчин Na ₂ SiO ₃	50 °C	Трубопровід 28	Перетворювач температури I/A Series®, діапазон вимірювання -60...250 °C, основна похибка 0,05 %	RTT15	2	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
11-1		Трубопровід, розчин ОП-10	70 °C	Трубопровід 32				
32-1	Температура	Трубопровід, топковий газ	1100 °C	Трубопровід 36	Перетворювач температури I/A Series®, діапазон вимірювання -180 ... 1300 °C, основна похибка 0,05 %	RTT15	1	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
33-1	Температура	Розпилювач сушарки, біла сажа	250 °C	Корпус розпилювача сушарки	Перетворювач температури I/A Series®, діапазон вимірювання -200...850 °C, основна похибка 0,05 %	RTT15	1	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
3-2	Температура	—	—	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний пристрій, точність виміру до 0,05%, вх сигнал 4...20 мА	6100AF	4	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
11-2								
32-2								
33-2								

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5117.00.000.Сп

Арк

74

Вимірювання витрати

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-1	Витрата	Трубопровід, розчин Na_2SiO_3	—	Трубопровід 28	Компактна вимірювальна діафрагма, температура вимірювального середовища $-40\dots+232\text{ }^{\circ}\text{C}$	СО-444А	16	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
2-1		Трубопровід, дистилерна вода		Трубопровід 29				
5-1		Трубопровід, хлороводнева кислота		Трубопровід 12				
6-1		Трубопровід, суспензія силікату кальцію		Трубопровід 30				
12-1		Трубопровід, розчин ОП-10		Трубопровід 32				
13-1		Трубопровід, суспензія білої сажі		Трубопровід 31				
14-1		Трубопровід, промивні води		Трубопровід 34				
18-1		Трубопровід, паста білої сажі		Трубопровід 33				
19-1		Трубопровід, вода		Трубопровід 1				
22-1		Трубопровід, паста білої сажі		Трубопровід 33				
23-1		Трубопровід, вода		Трубопровід 1				
26-1		Трубопровід, паста білої сажі		Трубопровід 33				
27-1		Трубопровід, вода		Трубопровід 1				
29-1		Трубопровід, паста білої сажі		Трубопровід 33				
30-1		Трубопровід, вода		Трубопровід 1				
37-1		Трубопровід, паста білої сажі		Трубопровід 33				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5117.00.000.Сп

Арк

75

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-2	Витрата	—	—	Місцевий	Інтелектуальний датчик перепаду тиску, границі вимірювання -0.21...2.1 МПа, точність виміру до 0,05% діапазону виміру, вихід по протоколу Profibus	IDP10	16	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
2-2								
5-2								
6-2								
12-2								
13-2								
14-2								
18-2								
19-2								
22-2								
23-2								
26-2								
27-2								
29-2								
30-2								
37-2								

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5117.00.000.Сп

Арк

76

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2-3	Витрата	-	-	Щит керування	Програмований логічний контролер SINGLE STATION MICRO, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації, 4 ... 20 мА	762С	14	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
6-3								
13-3								
19-3								
23-3								
27-3								
30-3								
14-3	Витрата	-	-	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний пристрій, точність виміру до 0,05%, вх сигнал 4...20 мА	6100AF	2	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
37-3								

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5117.00.000.Сп

Арк

77

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2-4	Витрата	—	—	Місцевий	CONFLOW 2000 EP з електроприводом. Стандартні аналогові або 3-х позиційні сигнали	2000 EP	14	Conflow S.p.a, Via Lecco 69/71 20864 Agrate Brianza
6-4								
13-4								
19-4								
23-4								
27-4								

					ДП 5117.00.000.Сп	Арк
						78
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимірювання рівня

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4-1	Рівень	Напірний бак для осадження білої сажі	—	Корпус напірного баку для осадження білої сажі	Багатопараметричний датчик перепаду з розрахунком рівня у резервуарі та компенсацією густини за температурою, точність $\pm 0,05\%$,	IMV31	6	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
8-1		Збирач		Корпус збирача				
9-1		Напірний бак для суспензії білої сажі		Корпус напірного баку для суспензії білої сажі				
10-1		Напірний бак для водних розчинів ОП-10		Корпус напірного баку для водних розчинів ОП-10				
15-1		Збирач промивних вод		Корпус збирача промивних вод				
38-1		Бункер готової продукції		Корпус бункера готової продукції				
4-2	Рівень	—	—	Місцевий	Перетворювач температури I/A Series®, діапазон вимірювання $-60 \dots 250$ °C, основна похибка 0,05 %, L=102 мм	RTT15	6	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
8-2								
9-2								
10-2								
15-2								
38-2								

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5117.00.000.Сп

Арк

79

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4-3	Рівень	—	—	Щит керування	Програмований логічний контролер SINGLE STATION MICRO, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації, вх сигнал 4 ... 20 мА	762С	6	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
8-3								
9-3								
10-3								
15-3								
38-3								
4-4	Рівень	—	—	Місцевий	CONFLOW 2000 EP з електроприводом. Стандартні аналогові або 3-х позиційні сигнали	2000 EP	6	Conflow S.p.a, Via Lecco 69/71 20864 Agrate Brianza
8-4								
9-4								
10-4								
15-4								
38-4								

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5117.00.000.Сп

Арк

80

Вимірювання вологості

1	2	3	4	5	6	7	8	9
17-1	Вологість	Трубопровід, паста білої сажі	-	Трубопровід 33	Система вимірювання абсолютної вологості при навколишній температурі -45 ... 105 °С	DEWCEL	7	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
21-1		Трубопровід, паста білої сажі		Трубопровід 33				
25-1		Трубопровід, паста білої сажі		Трубопровід 33				
31-1		Трубопровід, паста білої сажі	30%	Трубопровід 33				
34-1		Трубопровід, маленькі частинки білої сажі	-	Трубопровід 37				
35-1		Трубопровід, маленькі частинки білої сажі		Трубопровід 37				
36-1		Трубопровід, паста білої сажі	6,5%	Трубопровід 33				
17-2	Вологість	-	-	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний пристрій, точність виміру до 0,05%, вх сигнал 4...20 мА	6100AF	4	Invensys Operations Management Россия, 123022
21-2								
25-2								
31-2								
34-2	Вологість	-	-	Щит керування	Програмований логічний контролер SINGLE STATION MICRO, з функцією реєстрації, індикації та сигналізації, 4 ... 20 мА	762C	3	Invensys Operations Management Россия, 123022
35-2								
36-2								

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5117.00.000.Сп

Арк

81

1	2	3	4	5	6	7	8	9
34-3	Вологість	—	—	По місцю	CONFLOW 2000 EP з електроприводом. Стандартні аналогові або 3-х позиційні сигнали	2000 EP	3	Conflow S.p.a, Via Lecco 69/71 20864 Agrate Brianza
35-3								
36-3								

					ДП 5117.00.000.Сп	Арк
						82
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимірювання рівню рН

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7-1	рН	Трубопровід, хлороводнева кис- лота	4,0 ... 6,0 рН	Трубопровід 31	рН-метр промисловий у складі первинного вимірювального перетворювача заглибного ви- конання – ДПГ-4М	ДПГ-4М	1	НВО «Електротер- мія», м. Луцьк
7-2	рН	-	-	Місцевий	Перетворювач високоомний, I _{вих} = 0...5 мА (для R _н > 200 Ом); K _т = 1	П-215М	1	Гомельсь- кий завод вимірюваль- них при- ладів, м. Го- мель
7-3	рН	-	—	Щит керування	Автоматичний показувальний і ресструвальний вторинний прилад, I _{вх} = 0 ... 5 мА	А543	1	ЗАТ «Про- мислова група „Мет- ран”», м. Челябінськ

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5117.00.000.Сп

Арк

83

Електроприлади

1	2	3	4	5	6	7	8	9
SB1 SB2	Витрата	Насос	80 м³/год	Щит керування	Пост керування кнопковий, номінальна робоча напруга 220, 380, 660 В	ПКУ-123- 11	10	ЗАТ «Променергоавтома- тика», м. Київ
МП1				Місцевий	Пускач магнітний безконтакт- ний нереверсивний з реле IP-20; I _{вх} = 160 А	ПМ-12 01025	10	ВО «Електроприбор», м. Чебоксари
HL2					Лампа сигнальна світлодіодна із зеленим індикатором («ПУСК»), U _{жив} = 220 В, 50/60 Гц	ЛС 47-1	10	«ІЕК Україна», м. Київ
HL3					Лампа сигнальна світлодіодна з червоним індикатором («СТОП»), U _{жив} = 220 В, 50/60 Гц	ЛС 47-2	10	«ІЕК Україна», м. Київ
HL1, HL4 – HL10				Щит керування	Лампа сигнальна світлодіодна із жовтим індикатором U _{жив} = 220 В, 50/60 Гц, сила світла 20 мКд	СКЛ-11-Ж- 2-220	8	Трест «Променергоавтома- тика», м. Київ

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 5117.00.000.Сп

Арк

84